621.88(075)
3-81

М. С. Золотов

АНКЕРНІ БОЛТИ: КОНСТРУКЦІЯ, РОЗРАХУНОК, ПРОЕКТУВАННЯ

ХАРКІВ - ХНАМГ - 2005

3-81

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

М.С.Золотов

АНКЕРНІ БОЛТИ: КОНСТРУКЦІЯ, РОЗРАХУНОК, ПРОЕКТУВАННЯ

НТБ ВНТУ

427026

621.88(075) З-81 2005

Золотов М.С. Анкерні болти: конструкція, розра

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

ХАРКІВ – ХНАМГ – 2005

УДК 691.58.668.3

Золотов М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування. Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 122 с.

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури Фурсов В.А.;

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівництва і експлуатації доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Жданюк В.К.;

д-р техн. наук, професор кафедри технології будівельного виробництва та будівельних матеріалів Харківської національної академії міського господарства Дюженко М.Г.

У навчальному посібнику розглядаються конструкції анкерних болтів, їхній розрахунок і проектування. Наводяться матеріали для виготовлення анкерних болтів, а також технології їхнього закладення в бетон.

Розрахований на студентів спеціальності «Промислове і цивільне будівництво» вищих навчальних закладів. Може бути також використаний інженерно-технічними працівниками будівельної галузі.

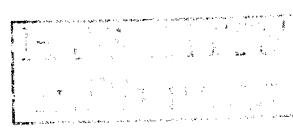
Іл. – 41; Табл. – 35; Бібл. – 105 найм.

Гриф наданий МОН України, рішення № 14/18.2-1849 від 29.07.05 р.

ISBN 966-695-067-7

© Харків, Золотов М.С., ХНАМГ, 2005

427026



ВСТУП

У цьому навчальному посібнику розглядаються питання конструкції анкерних болтів, їх розрахунку і проектування. Наведено дані про матеріали, з яких виготовляються анкерні болти і за допомогою яких вони зашпаровуються у бетон.

Розглянуто технології установки анкерних болтів у бетон залежно від виду існуючої будівельної конструкції чи при зведенні її в бетон.

При будівництві, експлуатації, реконструкції промислових підприємств доводиться проводити роботи з монтажу й установки на споруджуваних та існуючих фундаментах устаткування, технологічних ліній та інших допоміжних пристроїв. Тому важливе значення має використання раціональних методів кріплення до фундаментів, бетонних чи залізобетонних конструкцій технологічного устаткування та ін., тому що щорічно для цих цілей застосовуються сотні тисяч анкерних болтів. Особливо це відноситься до підприємств металургійної, машинобудівної, гірничорудної, хімічної і деяких інших галузей промисловості.

Від способів виробництва, вивірки і закріплення анкерних болтів залежать темпи і вартість монтажних робіт, оскільки трудомісткість цих операцій складає до 30-40% загальної трудомісткості механоскладальних робіт. Висоту фундаменту для багатьох видів устаткування часто визначають довжиною закладення анкерних болтів, що призводить до значної перевитрати бетону і сталі. Крім того, загальноприйнята установка анкерних болтів трудомістка і не гарантує необхідної точності їхнього розташування. Унаслідок цього 19-24% трудовитрат при монтажі устаткування приходиться на виправлення дефектів встановлених анкерних болтів. Крім того, відсутність уніфікації і взаємозамінності опорних частин устаткування створює великі труднощі при його модернізації в діючих цехах, оскільки місця установки анкерних болтів нового механізму не збігаються зі старими.

Розробка і впровадження прогресивних методів анкероустановочних робіт і закріплення устаткування є важливим резервом скорочення трудомісткості, матеріалоємкості, тривалості й вартості як будівельних робіт, так і робіт з ремонту і реконструкції промислових підприємств.

Матеріал навчального посібника базується на таких прикладних дисциплінах, як: залізобетонні конструкції, металеві конструкції, будівельні матеріали і технологія будівельного виробництва.

Для полегшення самостійного оволодіння розрахунком анкерних болтів, їхнім проектуванням, а також підбору сумішей для їхнього закладення в посібнику наведені приклади вирішення відповідних задач.

Розділ 1

КОНСТРУКЦІЇ АНКЕРНИХ БОЛТІВ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ І БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Конструкції анкерних болтів

Анкерні болти для кріплення будівельних конструкцій і технологічного обладнання за призначенням поділяються на конструктивні й розрахункові (силові) [1,2,3,8,9,13,14,27,28,31,35,54,57,78,81,87,106]. Конструктивні служать для фіксації устаткування на фундаментах і для запобігання випадковим зсувам. Їх передбачають для устаткування, стійкість якого проти перекидання, зсуву, чи скручування забезпечується власною вагою. Розрахункові болти сприймають навантаження, що виникають при роботі технологічного устаткування.

В Україні і за кордоном застосовують анкерні болти найрізноманітніших конструкцій. Вони відрізняються один від одного способами установки у фундаментах чи в інших бетонних і залізобетонних конструкціях, типом анкеруючих пристроїв і способами передачі навантажень на масив фундаменту чи будівельні конструкції (залізобетонні балки, перекриття і т.п.).

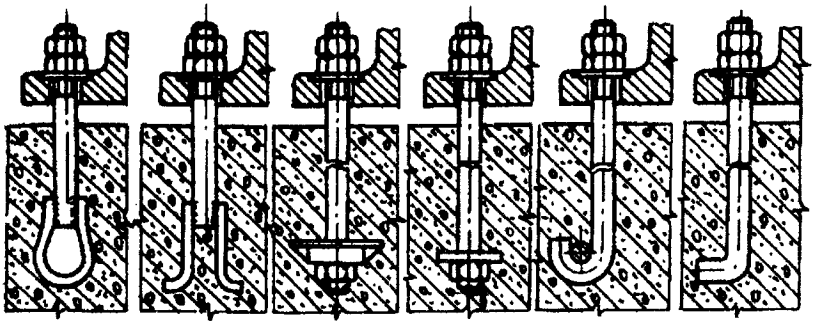
Анкерні болти залежно від способу установки підрозділяють на встановлювані в масив фундаменту: до його бетонування (глухі (рис. 1.1) чи з ізолюючою трубою (рис. 1.2)); після бетонування у просвердлені свердловини чи в колодязі (шанці) (рис. 1.3) готових фундаментів.

Глухі анкерні болти [8,9,13,14,31,35,40,53,54,57,81], що встановлюються безпосередньо в масив фундаменту, до його бетонування можуть виконуватися з відгинами, з анкерними плитами, складеними з анкерними плитами та ін. (рис. 1.1). Болти з відгинами, найбільш прості у виготовленні, застосовують, якщо висота фундаментів не залежить від глибини закладення болтів у бетон; болти з анкерними плитами, що мають меншу глибину закладення в бетон у порівнянні з болтами з відгинами, застосовують, якщо висота фундаменту визначається глибиною закладення болтів у бетон.

Зазначені конструкції болтів, наведені на рис. 1.1,а,б,е, рекомендується застосовувати діаметром d_s = 10-48 мм; на рис. 1.1,д - d_s = 48-56 мм, глибиною закладення $l_{анк} = (25 \div 30) d_s$; на рис. 1.1,в,г - для d_s = 56-140 мм з глибиною закладення $l_{анк} = 15 d_s$.

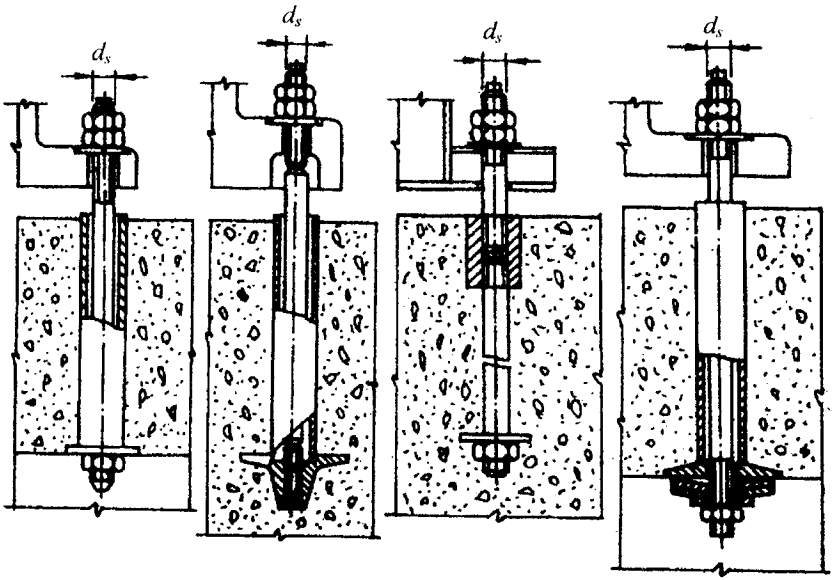
Друга група болтів [8,9,13,14,31,35,40,53,54,57,81], установлюваних до бетонування фундаментів, подана на рис. 1.2.

Конструкції болтів, зображені на рис. 1.2,а,б, рекомендуються для застосування з діаметром анкерів d_s = 56-125 мм при $l_{анк} = 30 d_s$; рис. 1.2,у - d_s = 24-66 мм при $l_{анк} = 15 d_s$; рис. 1.2,м - d_s = 36-80 мм при $l_{анк} = 20 d_s$.



а б в г д е

Рис. 1.1 – Глухі анкерні болти встановлювані до бетонування фундаментів



а б в г

Рис. 1.2 – Анкерні болти, встановлювані до бетонування фундаментів: а, б - знімні в трубчастій обоймі чи в перекритті фундаменту відповідно; в - складений з анкерною шайбою; г - знімний з елементами, що амортизують

Болти складені з анкерними плитами (рис. 1.2,в) використовують при установці устаткування методом повороту чи насуву. У цих випадках муфту і нижню шпильку з анкерною плитою встановлюють у масив фундаменту під

час бетонування, а верхню ввертають у муфту на всю довжину різьблення після установки устаткування через отвори в опорних частинах.

Болти знімні, встановлювані в масив фундаменту з ізолюючою трубою (рис. 1.2,а,б,у,г), можуть виконуватися без елементів, що амортизують, і з елементами, що амортизують, - тарілчастими пружинами.

Болти без елементів, що амортизують, складаються із шпильки й анкерної арматури (труби і плити). Анкерну арматуру закладають у фундамент під час бетонування фундаменту, а шпильку встановлюють вільно в трубі після влаштування фундаменту. Болти з елементами, що амортизують, складаються із шпильки, анкерної арматури і тарілчастих пружин, розташованих у нижній частині болта.

Знімні фундаментні болти без амортизуючих і з амортизуючими елементами застосовують для кріплення важкого прокатного, ковальсько-пресового та іншого устаткування, що викликає великі динамічні навантаження, а також у випадках, коли в процесі експлуатації устаткування можлива заміна болтів. Фундаментні болти з елементами, що амортизують, забезпечують міцність з'єднання при менших глибинах закладень болтів у бетон у порівнянні з болтами без амортизуючих елементів за рахунок пружних деформацій тарілчастих пружин. При цьому необхідно передбачати можливість доступу до нижньої частини болтів.

Знімні болти цієї групи, як указувалося вище, встановлюють у масиві готового фундаменту за допомогою спеціальних конструктивних елементів [13,14,27,28,31,52,81]. Останні закладають у бетон при зведенні фундаментів. Знімні болти встановлюють без наступного заливання цементним розчином. Їх можна встановлювати в трубчастій обоймі (рис. 1.2,а і 1.2,б) за допомогою сполучної муфти (рис. 1.2,в), з елементами, що амортизують, (рис. 1.2,г), заводити за поперечки (рис. 1.2,д) чи виступи (рис. 1.2,е). Знімні болти цієї групи можна витягувати з кріпильного вузла шляхом відділення анкера від заставної частини. Однак заставні частини встановлюють в масиві фундаменту до його бетонування. Це є істотним недоліком, оскільки установка зазначених конструктивних елементів чи заставних частин вимагає використання складних кондукторних та інших подібних пристроїв для їхнього утримання в проектному положенні. Ці пристрої безповоротно витрачаються при бетонуванні фундаментів. До того ж близько 16% заставних частин у процесі бетонування збиваються від проектного положення. Це викликає необхідність проведення додаткових ремонтних робіт і, як наслідок цього, подорожчання такого типу кріплення.

Болти, встановлювані в шанцевих колодязях, допускається застосовувати тільки в тих випадках, коли з якихось причин вони не можуть бути встановлені в просвердлені свердловини. На рис. 1.3 наведені конструкції глухих болтів, встановлюваних у шанцевих колодязях, що утворюються у фундаментах в момент їхнього зведення. Анкерні болти такої конструкції рекомендується застосовувати діаметром $d_s = 10\text{-}48$ мм із глибиною закладення $l_{анк} = 25 - 35d_s$.

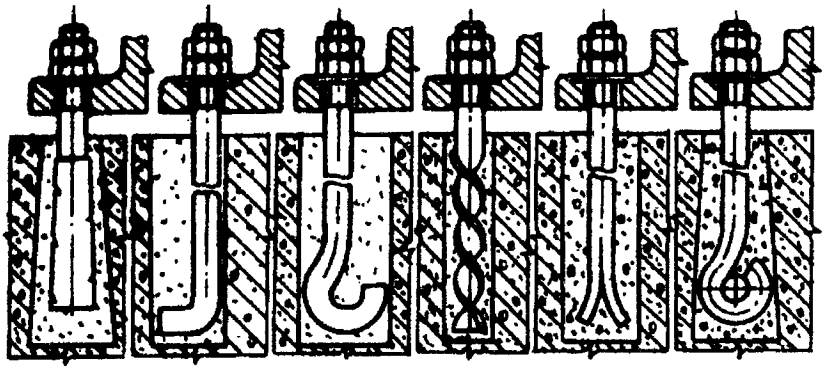


Рис. 1.3 – Глухі анкерні болти, встановлювані в шанцевих колодязях

Недоліком болтів цієї групи є: висока трудомісткість влаштування шанцевих колодязів, необхідність установки болтів до монтажу устаткування, великі неточності установки, що призводить до додаткових витрат на виправлення, а також значний проміжок часу (4 - 28 доби) від установки до затягування болтів і прикладання до них навантажень.

Анкерні болти [4-6,8,13,14,17.28,29,32,38,39,53-61,71-78,81,86-88], встановлювані в готові фундаменти з просвердленими свердловинами, підрозділяються на прямі, що закріплюються за допомогою різних клеїв, конічні, що закріплюються за допомогою цементного закарбування, розпірних цанг і розпірних втулок, і складені з розпірним конусом. Болти з розпірними цангами і розпірними втулками дозволяють вводити кріплення в експлуатацію одразу після установки болтів у свердловини. Болти складені з розпірним конусом застосовують тільки для конструктивного закріплення устаткування.

Анкерні болти цієї групи не вимагають застосування спеціальних кондукторних чи інших підтримуючих пристроїв для утворення шанців і утримання заставних елементів у проектному положенні. Це помітно знижує вартість і трудомісткість анкероустановочних робіт.

Кріплення знімних болтів засновано на заклинюванні болта за допомогою спеціального пристрою в свердловині, пробуреної чи просвердленої в бетоні. Вони одержали назву самозаанкеровочних і знайшли широке поширення як у нас, так і за кордоном. Існує багато конструкцій самозаанкеровочних болтів. До них відносяться "ролболт", "дуплексанкер", дюбелі типу ТЕП, ВНДІмонтажспецбуда, НДІЖБ і т.д.

Застосування вказаних вище кріплень дозволяє зменшити глибину закладення болта в порівнянні з болтами першої групи. Так, глибина закладення "ролболтов" (рис. 1.4) складає до 10 діаметрів. За кордоном анкерні болти розклинюючого типу, наприклад "ролболти", використовують

дуже широко [13,47]. У той же час їхня робота ще не зовсім зрозуміла, тому що невідома площа контакту між сегментом і бетоном. У зв'язку з цим у бетоні можуть виникати значні контактні напруження, що викликають його руйнування. "Ролболти" призначені для кріплення верстатів та іншого устаткування. Вони вставляються в заздалегідь підготовлену свердловину у фундаменті. Принцип роботи "ролболтів" виражається в заклинюванні розсувних сегментів при висмикуванні болтів. Діаметр фундаментних болтів такого типу складає від 5 до 25 мм. Ці болти встановлюють у фундаментах та інших будівельних конструкціях, виготовлених з бетону марки не нижче 100. Їх використовують в основному для кріплення устаткування, що не сприймає динамічних навантажень.

У будові розклинюючого болта типу "дуплексанкер" (рис. 1.5) є розширювальний конус і розсувні щоки [15,49]. При обертанні болта конус переміщується вгору, губки-сегменти розсовуються і відбувається заклинювання анкерного пристрою в свердловині. Болти такого типу складні у виготовленні, тому їх виготовляють зі стержнем діаметром до 20 мм, що обмежує їхнє застосування.

У Німеччині [3,28,81,91,97,107] запропонована подібна конструкція анкерного болта (рис. 1.6), яка відрізняється тим, що при затягуванні болта конуси входять у розтискний елемент з торців.

Англійський варіант болтового кріплення [78,81,95] також заснований на роботі клина (рис. 1.7). Клиновий анкер забезпечує надійну роботу, оскільки тиск на стінки свердловини передається всією поверхнею щитків і в одній площині. Це дозволяє встановлювати болти на невеликому видаленні від обріза фундаменту.

За кордоном також широко застосовують анкерні дюбелі, встановлювані в отвори, що просвердлюються [78,81,91,95,97,98,99,101, 107]. Вони розширюються біля дна отвору за рахунок розклинення насаджуваною конічною пробкою (рис. 1.8). Деякі типи дюбелів ("дріланкер", рис. 1.8) самі свердлять отвори. Для цього служать зубці на порожній частині дюбеля. Дюбель виготовляють з високоякісної сталі і піддають термообробці. До його недоліків відносяться висока вартість виготовлення, труднощі з установкою в залізобетоні та обмежений діаметр (до 16 мм).

Крім описаних вище типів самозаанкеровочних болтів, одержали також поширення ущільнюючі анкери (рис. 1.9) [72, 81] діаметром до 32 мм і глибиною закладення 10 діаметрів болта. Їх рекомендується встановлювати в місцях з підвищеним змістом вологи. Ущільнювальні анкерні болти складаються із загартованих сталевих сегментів і циліндричної та свинцевої голівки, що сприяє розвальцьовуванню сталевих сегментів і врізанню їх у стінки свердловини. Для збільшення надійності кріплення на болт надягають кілька ущільнюючих сегментів.

Створені й широко використовуються розклинюючі болти типів ТЕП, ВДНІМонтажспецбуду, НДІЖБ.

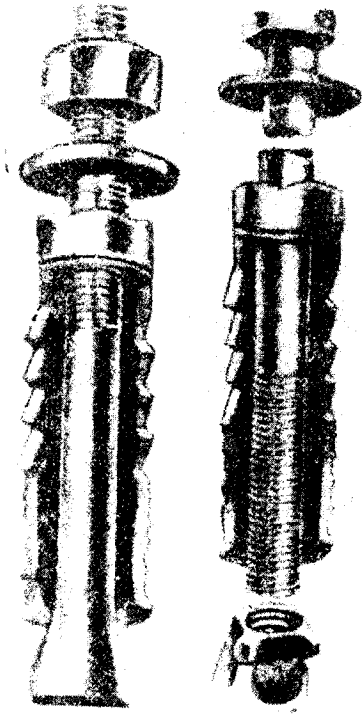


Рис. 1.4 – Розкриваючі анкери типу «ролболт»

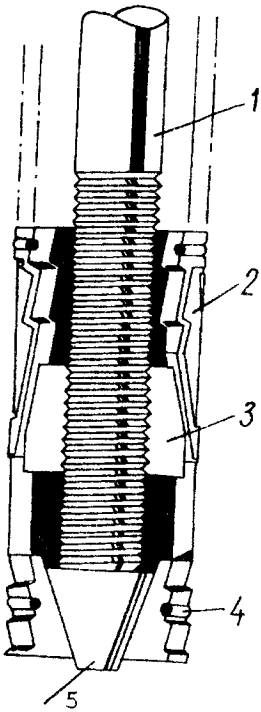


Рис. 1.5 - Розклинюючий анкер типу «дуплексанкер»: 1 - стержень; 2 - сегменти; 3 - гайка-розширник; 4 - пружинне кільце; 5 - розширювальний конус

Розклинюючі болти типу ТЕП розроблені Інститутом «Теплопроект» [78, 81]. У його конструкцію (рис. 1.10) входять стержень з конічною голівкою і заклинююча трубка з прорізами на кінці. При установці спочатку злегка забивається розклинююча трубка, а потім нагвинчується гайка. У результаті входження конічної голівки болта в трубку кінець його розсовується і пристрій заклинюється в бетоні. Болти типу ТЕП застосовують не тільки для кріплення обладнання до фундаментів, але і для кріплення стінових панелей, опор трубопроводів, металевих площадок і т.п. до збірного залізобетону.

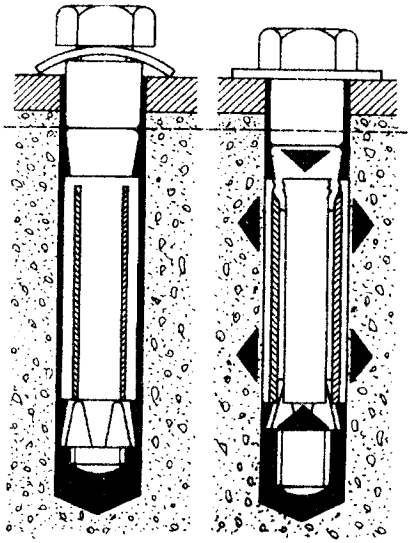


Рис. 1.6 – Двоконусний анкерний болт

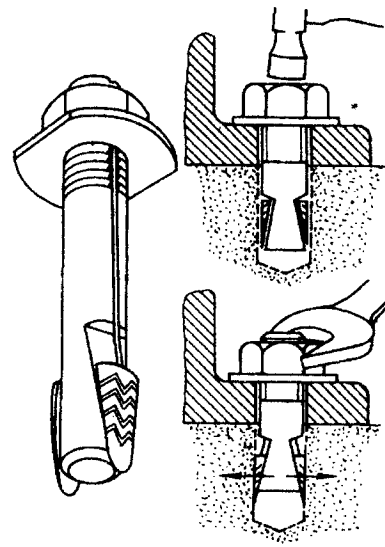
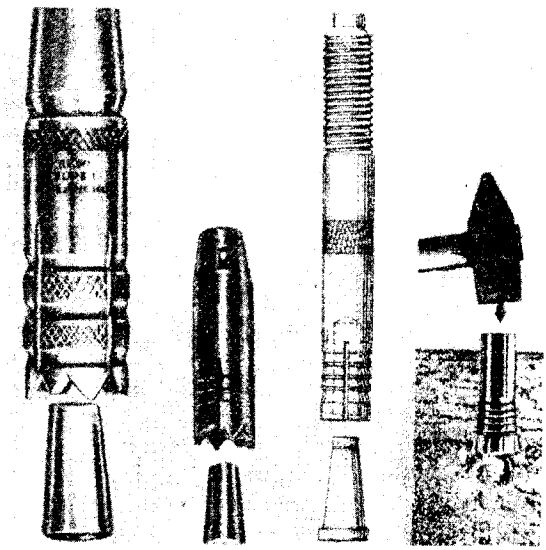
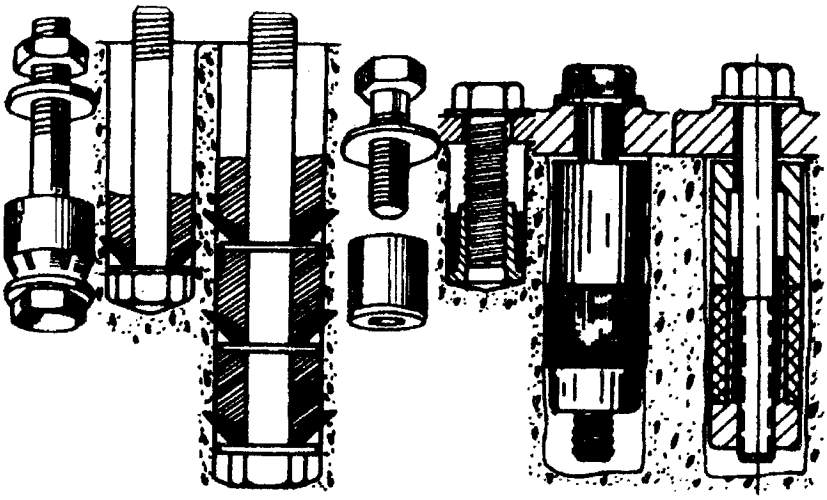


Рис. 1.7 – Клиновий анкерний болт



а б в г

Рис. 1.8 – Анкерні дюбелі: а - самоанкеровочний дюбель «дріланкер»; б, в - дюбель, встановлюваний у просвердлений отвір; г - забивання дюбеля в бетон



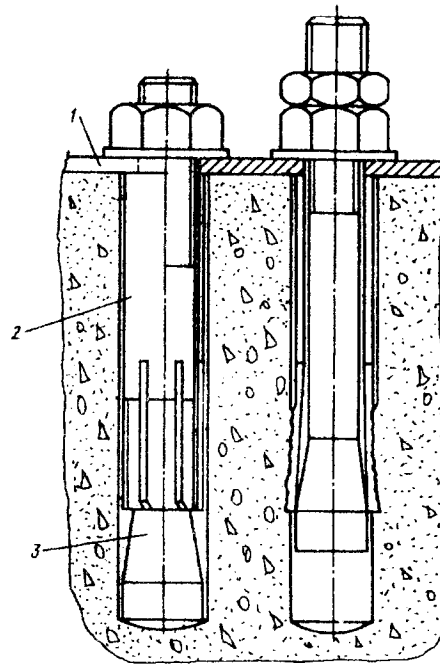
а) б) в) г)

Рис. 1.9 – Ущільнюючі анкери: а - з однією циліндричною втулкою; б - з декількома; в - з конічною гайкою; г - з гумовою втулкою

Розклинюючі анкери ВНДІмонтажспецбуду [1,2,3,13,14,28,78,81] розроблені декількох типів (рис. 1.11). Наведені на рис. 1.11,а,б анкери складаються з конічної шпильки і розширювальної трубки з прорізами, а на рис. 1.8,в - замість трубки з прорізами застосовані розрізні кільця. Інші типи анкерів (рис. 1.11,г,д) являють собою дюбелі. У них анкер, що має циліндричну трубку, насаджується на конусну пробку.

Відзначимо, що розклинюючі анкери типів ТЗП і ВНДІмонтажспецбуду мають незначну площу контакту з бетоном у свердловині, що може призвести до зминання бетону в місцях контакту.

Створені в ДНІЖБе [13,14,28,57,60,78,81] самоанкеруючі конічні болти відрізняються від вищенаведених тим, що цанги їх усією зовнішньою поверхнею прилягають до бетону. Це забезпечує високу надійність роботи болтів. Самоанкеровочний болт ДНІЖБа (рис. 1.12) складається зі стержня з конічною нижньою частиною і цанг, стягнутих пружним кільцем. Конічні частини стержня і внутрішньої поверхні цанг мають однаковий кут нахилу, рівний $5\text{-}7^0$. При затягуванні болта конічна частина стержня, переміщаючись, розсовує цанги, в результаті чого відбувається заклинювання болта в свердловині. Ці болти менш металоємкі і прості у виготовленні, ніж болти, конструкції яких наведені раніше.



а) б)

Рис. 1.10 – Розклинюючий анкер типу ТЭП:
а - перед заклинюванням; б - після заклинювання;
1 - устаткування, що закріплюється; 2 - трубка з прорізами;
3 - болт

Знімні самоанкеруючі болти всіх типів можна експлуатувати відразу після установки і затягування. Крім того, їх можна витягувати з конструкції і повторно використовувати. До цих болтів не відносяться дюбелі.

Основними недоліками всіх знімних самоанкеровочних болтів є висока трудомісткість, складність і дорожнеча виготовлення. Крім того, для установки таких болтів необхідно бурити чи свердлити свердловини високої точності. Припустимі відхилення по діаметру болта складають 0,5 - 2 мм.

Цих недоліків позбавлені глухі болти (рис. 1.13), встановлювані в пробурені чи просвердлені в конструкціях свердловини і закріплювані синтетичними клеями, твердими цементно-піщаними сумішами і цементними розчинами.

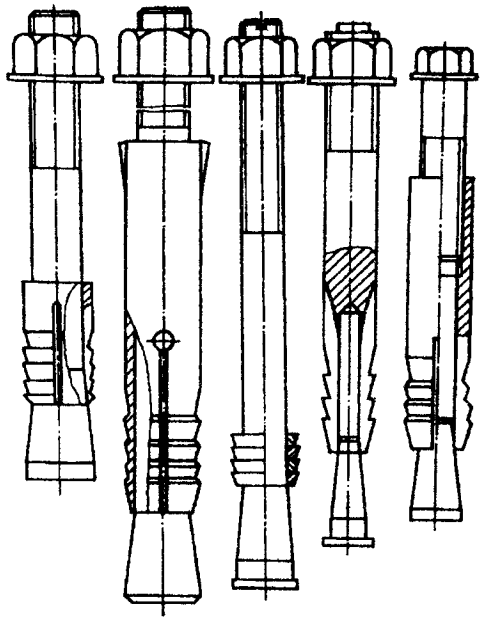
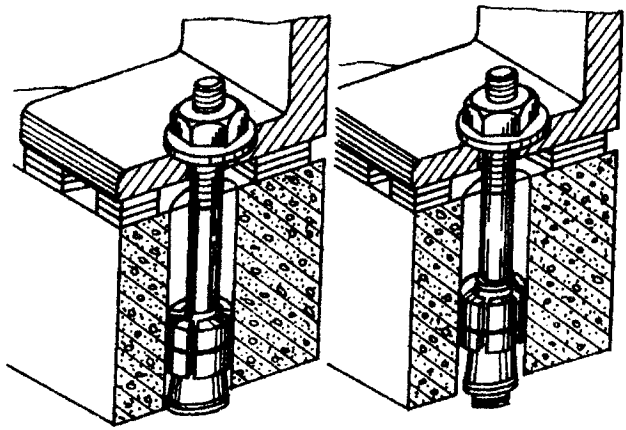


Рис. 1.11 – Розклинюючі анкери, розроблені ВНДІмонтажспецбуд: а, б - з конічною шпилькою і розширювальною трубкою з прорізами; в - з конічною шпилькою з розрізними кільцями; г, д - з розширювальним конусом і циліндричною трубкою (дюбелем)

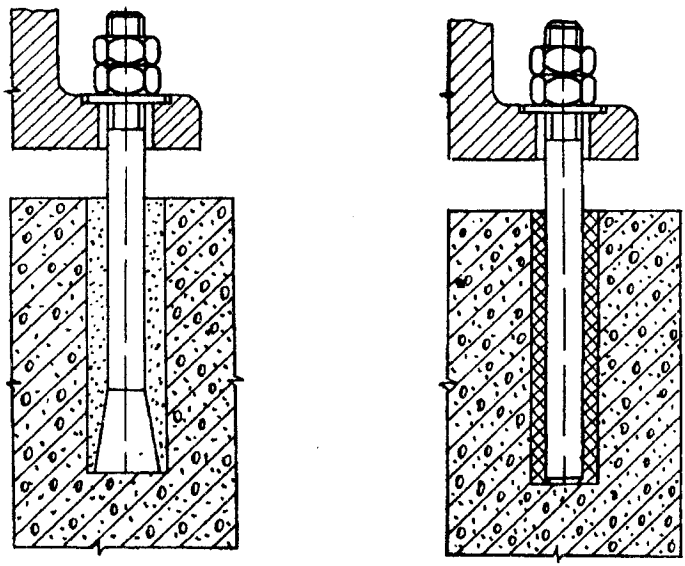
До цих болтів відносяться самоанкеруючі конічні болти НДІЖБа із закарбуванням цементним розчином (рис. 1.13,а). Глибина їхнього закладання складає 10 діаметрів болта. Застосовувати їх рекомендується з діаметром різьблення від М12 до М42.

На рис. 1.13,б наведені глухі болти, що закладаються в бетон на клеях (силоксанових, епоксидних й акрилових) і жорстких цементно-піщаних сумішах. Глибина їхнього закладення коливається від 8 до 10 діаметрів болта [4, 5, 6, 16, 28, 32, 35,43,44,45,51,56,57,58,59,67,71,73,74,81,82,83,86,90,99,103, 106]. ДСТ 24379.0 і СНиП 2.09.03 рекомендують застосовувати анкерні болти з діаметром різьблення від М12 до М42. Але значна кількість експериментів [32,33,43,44,45,51,64,67,83,85] показала, що болти на акрилових клеях можна також застосовувати до діаметра різьблення М56.



а б

Рис. 1.12 – Самоанкеровочні конічні болти, розроблені в НДІЖБ:
а - з цангами і конічною шпилькою; б - з цангами і конічною гайкою



а б

Рис. 1.13 – Глухі анкерні болти, встановлювані в отвори чи свердловини:
а - конічні із закарбуванням цементним розчином; б - гладкі на клеях чи жорстких цементно-піщаних сумішах

1.2. Види обпирання устаткування на фундаменти

Залежно від конструкції обпирання устаткування на фундамент розрізняють три [13,14,28,57] види стиків «фундамент - устаткування» (рис. 1.14).

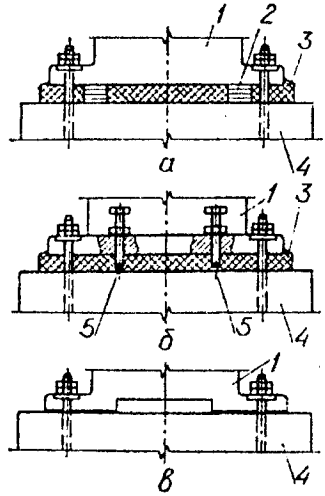


Рис. 1.14 – Конструкції стиків «фундамент - устаткування» з обпиранням устаткування: а - на металеві пакети (підкладки); б - на бетонну підливу при "безпідкладковому" методі монтажу устаткування; в - безпосередньо на фундамент; 1 - устаткування; 2 - металеві підкладки (пакети); 3 - бетонна підлива; 4 - фундамент; 5 - регулювальні (установні) болти

При закріпленні устаткування на фундаментах повинні переважно застосовуватися безпідкладкові методи монтажу.

Опорні елементи, установлювані між фундаментом і опорною частиною станини устаткування, служать також для компенсації неточності розмірів і позначок готових фундаментів при установці устаткування в проектне положення.

При застосуванні конструкції стику виду 1 (рис. 1.14,а) монтажні й експлуатаційні навантаження на фундамент передаються через окремі елементи (підкладки), використовувані як постійні опори, підлива ж має допоміжне призначення. При конструкції стиків виду 2 чи 3 (рис. 1.14,б,в) експлуатаційні навантаження передаються на фундамент відповідно через бетонну підливу чи через вивірену поверхню фундаменту.

Товщина шару підливи під устаткування при безпідкладковому монта-

жі допускається в межах 50...80 мм. При наявності на опорній поверхні устаткування ребер жорсткості зазор приймають від низу ребер.

Підлива виступає за опорну поверхню устаткування не менше ніж на 100 мм, при цьому її висота повинна бути більше висоти основного шару підливи під устаткування не менше ніж на 30 мм і не більш товщини опорного фланця устаткування.

Клас бетону чи розчину при підливі устаткування повинен прийматися не нижче класу бетону фундаменту, а при безпідкладкових методах монта-жу - на один ступінь вище.

1.3. Матеріал анкерних болтів

Марка сталей розрахункових болтів, експлуатованих при розрахунковій зимовій температурі зовнішнього повітря до -65^{0}С включно, повинна призначатися відповідно до вказівок табл. 1. Конструктивні фундаментні болти у всіх випадках повинні виготовляти зі сталі марки ВСт3кп2 за ДСТ 380-71*.

Розрахункові фундаментні болти для кріплення устаткування виготовляють з вуглецевої сталі ВСт3пс2 за ДСТ 380-71* чи з конструкційної марки Ст20 за ДСТ 1050-74**.

При розрахунковій зимовій температурі зовнішнього повітря -40^{0}С і вище допускається застосовувати болти діаметром 56 мм і більш з низьколегованої сталі марок 09М2С-2 і 10М2С1-2 за ДСТ 19281-73*.

Таблиця 1.1 – Марка сталей розрахункових фундаментних болтів (ДСТ 24379.0-80)

Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, ^{0}С	- 40^0 і вище	Від -40^0 до -50^{0}С	Від -51^{0}С до -65^{0}С включно
Марка сталі	ВСт3кп2, ВСт3пс2, Ст20	09Г2С-6, 10Г2С1-6	09Г2С-8, 10Г2С1-8

Для кріплення судин і апаратів, призначених для обробки і збереження вибухонебезпечних продуктів, а також для кріплення апаратів колонного типу при розрахунковій температурі повітря до -30^{0}С включно використовують сталь марки ВСт3пс3 (замість ВСт3пс2), від -31 до -40^{0}С - марки Ст20 за ДСТ 1050-74**.

При розрахунковій температурі до -65^{0}С низьколеговані марки сталей 09М2С-8 і 10М2С1-8 повинні мати ударну в'язкість не нижче 30 Дж/см^2.

Питання для самоперевірки до розділу 1

1. Для чого необхідні анкерні болти?
2. Скільки мається груп глухих анкерних болтів?
3. Чим відрізняються глухі анкерні болти від знімних?
4. Від чого залежить глибина закладення анкерних болтів?
5. Чим відрізняються конструкції глухих анкерних болтів, встановлюваних до бетонування фундаменту, від конструкцій болтів, встановлюваних в існуючі чи готові фундаменти?
6. Які існують діапазони застосування глухих анкерних болтів залежно від їхньої конструкції?
7. Які існують види конструкцій знімних анкерних болтів?
8. Які існують конструкції стиків «фундамент-устаткування»?
9. Які види навантаження передаються на анкерні болти і фундаменти під устаткування?
10. Яким чином передається навантаження на фундамент залежно від способу обпирання устаткування на нього?
11. Від чого залежить застосування марок сталі для виготовлення анкерних болтів?
12. У яких випадках застосовують нелеговані і низьколеговані марки сталей анкерних болтів?
13. Які існують температурні режими для вибору марки сталі анкерних болтів?

Розділ 2

МАТЕРІАЛИ, ЗАСТОСОВУВАНІ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГЛУХИХ АНКЕРНИХ БОЛТІВ У СВЕРДЛОВИНАХ

Як зазначалося вище, у даний час для кріплення болтів на готових фундаментах широко застосовують силоксанові і полімерні (епоксидні, акрилові та ін.) клеї, жорсткі цементно-піщані суміші.

2.1. Епоксидні клеї

У використовуваних для анкероустановочних робіт епоксидних клеях, зв'язуючим є епоксидно-діанові смоли, а наповнювачем - кварцовий пісок. Для затвердіння епоксидно-діанових смол при нормальній температурі 15^0С і вище застосовують як затверджувач аміни (поліетиленполіамін, етилендіамін, гексаметилдіамін, піперидин та ін.). Зажорсткілі епоксидні смоли мають велику крихкість, тому для додання їм пластичності у них вводять: дибутилфталат, діоксилфталат, трикрезилфосфат та ін. [4,5,71,77,81].

У розроблених Харківським ПромстройНДІпроектом [71] складах клеїв для установки фундаментних болтів використовують низькомолекулярні епоксидні смоли ЭД-16, ЭД-20 та ін., а в якості затверджувача - поліетиленполіамін (ПЭПА) і пластифікатора - дибутилфталат (ДБФ). У зажорсткілому стані ненаповнений епоксидний клей відрізняється високими міцнісними властивостями. Міцність на стиск його дорівнює 60,4, розтяг - 30, вигин - 77,3 МПа. Наповнений кварцовим піском із крупністю зерен 0,315 мм (300 мас-частин на 100 мас-частин ЭД) епоксидний клей має міцність на стиск - 54,9, розтяг - 8,2, вигин -47 МПа.

При готуванні епоксидного клею необхідно дотримуватись строгого дозування затверджувача і пластифікатора, тому що збільшення їхньої кількості, наприклад, з 20 до 40 мас-частин знижує міцність клею відповідно на 50 і 44%.

Для кріплення болтів у готових фундаментах рекомендуються наступні склади клею: епоксидна смола ЭД-16 чи ЭД-20 - 100 мас-частин, затверджувач ПЭПА - 15 мас-частин, пластифікатор ДБФ - 20 мас-частин, наповнювач - 200-300 мас-частин сухого кварцового піску з крупністю зерен від 0,16 до 0,63 мм. Міцність при стиску залежно від кількості наповнювача коливається від 40,0 до 60,0 МПа, а модуль пружності - від $3x10^3$ до $4,5x10^3$ МПа.

Епоксидний клей зазначеного складу має наступні технологічні властивості. Технологічна життєздатність при нормальній температурі навколишнього середовища залежно від складу клею коливається від 60 до 85 хв. Полімеризація при температурі більше 15^0С - відбувається протягом 3 діб, а при температурі нижче 15^0С -10 діб. В'язкість епоксидного клею

досить висока. Пластифікований клей без наповнювача при нормальній температурі має в'язкість за Суттардом 20 см, а клей, наповнений кварцовим піском - 10-14 см. При застосуванні епоксидного клею при температурі нижче 15^{0}С перед заливанням у свердловину його потрібно підігрівати.

Для приготування клею слід застосовувати компоненти, що відповідають вимогам ДСТу (табл. 2.1), мають заводські паспорти з відповідними термінами придатності з моменту виготовлення клею.

Таблиця 2.1 – Склади епоксидного клею

Складові клею	Умовні позначення	Вагові частини складових речовин клею			Нормативний документ
		1-го	2-го	3-го	
Епоксидний клей	ЭД-16 або ЭД-20	100	100	100	ГОСТ 10587
Поліетилен-поліамін	ПЭПА	15	15	7,5	ТУ 6-62-594-80Е
Метафенілен-діамін	МФД	-	-	7,5	ГОСТ 5826
Дибутилфталат	ДБФ	20	-	-	ГОСТ 8728
Поліефір-крилат	МГФ-9	-	10	10	ТУ 6-01-450-70
Пісок вольський	ПВ	200	-	-	ГОСТ 6139
Пісок кварцовий з питомою поверхнею від 1000 до 2000 см^2/г	ПМ	-	200	200	-

Примітка: Когезійна міцність при стиску до ДСТ 4551 для 1-го складу має бути не нижче 50 МПа, а для 2-го і 3-го - 70-80 МПа.

Клей першого складу застосовують на ділянках фундаменту, що прогріваються (на глибині закладення болта) до температури 50^{0}С, другого - від 50 до 90^{0}С і третього - до 100^{0}С.

Компоненти клею треба зберігати в сухому приміщенні з дотриманням умов пожежної безпеки для легкозаймистих рідин.

До недоліків епоксидного клею відносяться:

- токсичність компонентів (крім наповнювача), що вимагає строгого дотримання спеціальних заходів з техніки безпеки;

- недостатня теплостійкість, що не допускає застосування клею при температурі нагрівання елементів понад 100^{0}С;

- при приготуванні епоксидного клею потрібне точне дозування затверджувача і пластифікатора, що викликає в умовах будівництва додаткові складності й ненадійність результату;

- у випадку виконання анкероустановочних робіт при температурі нижче 15^0С застосування епоксидного клею вимагає додаткових заходів щодо підігріву клею та анкерів;

- висока вартість епоксидної смоли, її дефіцитність.

2.2. Силоксановий клей

До складу силоксанового клею [59] входить 300 мас-частин їдкого натрієвого скла з модулем 1,8-6,0, 600 мас-частин сухої меленої суміші, 200 мас-частин кварцового піску, а також 0,01% від маси сухої меленої суміші алюмінієвої пудри.

Рідке скло застосовують товарного постачання. Для зменшення його модуля в 1 кг рідкого скла вводять 70 г їдкого калію у твердому вигляді. Суха мелена суміш складається з: 35% гранульованого доменного шлаку вологістю до 0,5%, 40% кварцового піску вологістю до 0,5% і 25% технічного кремнефтористого натрію. Складові меленої суміші використовують з питомою поверхнею, рівною 5000-7000 $см^2/м$. Подрібнення здійснюється в кульовому млині періодичної дії. Мелену суміш потрібно оберігати від зволоження і забруднення при зберіганні. Міцність силоксанового клею на стиск через 28 діб твердіння при нормальній температурі складає більше 40 МПа.

Для приготування клею слід застосовувати компоненти, що відповідають вимогам ДСТу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Компоненти силоксанового клею

№ п.п	Найменування матеріалів за ДСТ	Держ-стандарт
1	Скло натрієве рідке	13078
2	Пісок для будівельних робіт	8736
3	Натрій кремнефтористий технічний	-
4	Доменний гранульований шлак з модулем основності вище одиниці*	-
5	Калій їдкий технічний	9285
6	Пудра алюмінієва	5494

* Можуть використовуватися гранульовані шлаки металургійних заводів Півдня України (Дніпропетровського, Запорізького, Дніпродзержинського), а також ливарних виробництв.

У табл. 2.3 наведений склад силоксанового клею.

Таблиця 2.3 – Склад силоксанового клею

Склад меленої сухої суміші, % за масою			Алюмінієва пудра понад 100% від меленої суміші	Склад клею, % за масою		
доменний шлак	кварцовий пісок	кремнефтористий натрій		мелена суха суміш	рідке скло	кварцовий природний пісок
35	40	25	0,01	50	30	20

Примітка. Когезійна міцність клею на стиск після 28-добового збереження зразків 2 х 2 х 2 см на повітрі при температурі 18-20^{0}С повинна бути не менш 40 МПа.

Істотним недоліком силоксанового клею є його багатокомпонентність, необхідність виробництва гідродомолу, неможливість застосування у випадку впливу на анкерне з'єднання високої вологості.

2.3. Жорсткі цементно-піщані суміші

При закріпленні фундаментних болтів шляхом віброзачеканки застосовують жорсткі цементно-піщані суміші [56,58]. Склад їх залежить від температури навколишнього середовища, при якій виконуються роботи. При температурі середовища від 5 до 30^{0}С для проведення анкероустановчих робіт рекомендується суміш, що складається з 100 мас-частин портландцементу марки 400, 100 мас-частин дрібного кварцового піску і 10 мас-частин технічної води. У воді не повинні бути присутніми домішки, що перешкоджають нормальному схоплюванню і зажорсткінню цементу. Кількість води коректується залежно від вологості піску. При температурі навколишнього середовища від 5 до -20^{0}С до вищенаведеного складу цементно-піщаної суміші додають двокомпонентну добавку, що складається з вуглекислого калію і сірчанокислого алюмінію. Склад добавки залежить від температури навколишнього середовища. У неї входять:

- при температурі від 5 до -5^{0}С - 5 мас-частин вуглекислого калію і 1 мас-частина сірчанокислого алюмінію;
- при температурі від - 6 до 40^{0}С - 10 мас-частин вуглекислого калію і 1,5 мас-частин сірчанокислого алюмінію;
- при температурі від -10 до -120^{0}С - 16 мас-частин вуглекислого калію і 2 мас-частини сірчанокислого алюмінію.

Для приготування цементно-піщаної суміші слід застосовувати матеріали, що відповідають вимогам ДСТ (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Склад цементно-піщаної суміші

Температура зовнішнього повітря при установці болтів, ^{0}С	Склад суміші, вагові частини					Технологічна життєздатність, хв
	портландцемент М400 (ГОСТ 10178)	пісок дрібний для будівельних робіт (ГОСТ 8736)	вода технічна (ГОСТ 2874)	калій вуглекислий (поташ) (ГОСТ 10690)	алюміній сірчанокислий (ГОСТ 8758)	
Від +5 до +30	100	100	10	-	-	120
Від +5 до -5	100	100	10	5	1	30
Від -5 до -10	100	100	10	10	1,5	30
Від -10 до -20	100	100	10	15	2	30

Складові суміші зберігають у сухому приміщенні: цемент і вуглекислий калій - у герметичній тарі, сірчанокислий алюміній може зберігатися у відкритій тарі, але при температурі не нижче +10^{0}С, тому що при більш низькій температурі він поглинає воду.

Цементно-піщану суміш виготовляють безпосередньо в зоні анкероустановочних робіт механізованим способом, використовуючи мішалки (бігунки) типу ЛБ-2.

2.4. Акриловий клей

Склад акрилового клею розроблений у Харківській національній академії міського господарства. Тут були проведені комплексні дослідження адгезійних, когезійних і технологічних властивостей, а також довговічності акрилового клею [10-11,18-26,81,82,83].

Акриловий клей складається з полімерного в'яжучого і наповнювача. Як полімерне в'яжуче застосовується акрилова пластмаса АСТ-Т, що являє собою компаунд холодного затвердіння типу порошок-рідина. Компоненти АСТ-Т випускає завод-виготовлювач. Поставляються вони в комплекті. Порошкоподібний компонент АСТ-Т - це високомолекулярна речовина, що являє собою суспензійний полімер на основі метилметакрилату (поліметилметакрилат). Рідкоподібний компонент (далі затверджувач) акрилових самотвердіючих пластмас АСТ-Т – метиловий ефір метакрилової кислоти (мономер метилметакрилату).

Затвердіння акрилової пластмаси здійснюється мимовільно при нормальній температурі за рахунок полімеризації, заснованої на реакції

окислювально-відновних систем. Як наповнювач може використовуватися кварцовий пісок із крупністю зерен від 0,16 до 0,63 мм. Пісок повинен бути сухим, без сторонніх домішок і включень.

Для підвищення адгезійних, когезійних, технологічних та ін. властивостей можуть застосовуватися модифікатори.

2.4.1. Технологічні властивості акрилового клею

При приготуванні акрилового клею змішують полімер із затверджувачем і після набрякання цієї пластмаси вводять у неї кварцовий пісок.

Набрякання виражається у збільшенні об'єму (маси) полімерів у результаті поглинання ними низькомолекулярної рідини (затверджувача) після їхнього змішування. При набряканні маси пластмаса проходить такі стадії:

- змочування полімерних часток без внутрішнього просочення;
- набрякання полімерних часток з поверхні і часткове розчинення їх у мономері - маса стає липкою;
- подальша дифузія мономера всередину часток, у результаті чого зменшується кількість вільного мономера - маса втрачає липкість. Після набрякання вводять наповнювач.

У процесі набрякання підвищується в'язкість компаунда, причому на кінцевому етапі набрякання в'язкість може мати різні значення. Так, початкова в'язкість (у момент змішування полімеру й затверджувача) компаунда, що складається з 100 мас-частин затверджувача і 100 мас-частин полімеру, незалежно від температури навколишнього середовища дорівнює 4 сек. (за віскозиметром ВЗ-1). Зі збільшенням кількості затверджувача від 60 до 160 мас-частин на 100 мас-частин полімеру початкова в'язкість зменшується від 14,4 до 2,2 сек. В'язкість компаунда після завершення набрякання складає 27 сек. і не змінюється ні від температури навколишнього середовища, ні від складу компаунда.

Низька в'язкість акрилового компаунда дозволяє високо наповнювати його кварцовим піском. При цьому акриловий клей володіє гарним укладанням і низькою в'язкістю, що не залежить від температури навколишнього середовища.

Дослідження показали, що наповнюваність акрилового клею залежить від складу компаунда і крупності зерен піску. Так, зі збільшенням кількості затверджувача з 60 до 200 мас-частин на 100 мас-частин полімеру, наповнюваність кварцовим піском із крупністю зерен 0,16 мм збільшується з 160 до 700 мас-частин.

При введенні в клей, що складається з 100 мас-частин полімеру і 100 мас-частин затверджувача, кварцового піску з крупністю зерен 0,16, 0,315,*0,63 мм і вольського піску максимальна наповнюваність відповідно склала 300, 500, 800 і 700 мас-частин від маси затверджувача.

У результаті досліджень встановлено, що для кріплення фундаментних болтів рекомендується такий склад акрилового клею: затверджувач - 100 мас-частин; полімер - 100 мас-частин; кварцовий пісок із крупністю зерен 0,16 мм - не більше 180 мас-частин, 0,315 мм - 300 мас-частин, 0,63 мм - 400 мас-частин, вольський пісок - 350 мас-частин. При цьому в'язкість клею за віскозиметром Суттарда (розпливання на склі) складає 24 см незалежно від температури навколишнього середовища.

Однієї з найважливіших технологічних характеристик клею є його життєздатність, тобто проміжок часу, протягом якого його можна застосовувати для виконання анкероустановочних робіт.

Дослідження свідчать, що технологічна життєздатність акрилового клею залежить від його складу і температури середовища. Так, цей показник для акрилового клею, що складається з 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача і 150 мас-частин кварцового піску з крупністю зерен до 0,16 мм при температурі середовища, рівній 25,20,15,10^{0}С, відповідно складає 16,36,70 і 250 хвилин. Життєздатність клею зростає зі збільшенням кількості затверджувача у складі компаунда. Так, при нормальній температурі навколишнього середовища зі збільшенням кількості рідини з 60 до 120 мас-частин у клеї, що складається з 100 мас-частин полімеру і 150 мас-частин кварцового піску з крупністю зерен до 0,16 мм від ваги рідини, життєздатність його підвищується з 6 до 36 хв.

Збільшення кількості наповнювача в акриловому клеї також приводить до деякого зростання його життєздатності. Наприклад, акриловий клей, що складається з 100 мас-частин затверджувача, 100 мас-частин полімеру і 150 мас-частин кварцового піску з крупністю зерен 0,63 мм, має життєздатність 33 хв при нормальній температурі. Зростання в ньому кількості кварцового піску до 200, 300 і 400 мас-частин приводить до збільшення життєздатності відповідно до 36, 42 і 50 хв.

Затвердіння акрилового клею відбувається мимовільно при позитивній температурі за рахунок полімеризації мономера. Акрилова пластмаса АСТ-Т полімеризується без виділення побічних речовин, оскільки вихідний мономер з'єднується за реакцією ущільнення з розкриттям ненасичених зв'язків. Відсутність виділення побічних речовин позитивно позначається на якості клейового шва і міцності матеріалу. При одній і тій же температурі навколишнього середовища кінетика полімеризації для різних складів ідентична. Це можна простежити за внутрішньою температурою полімеризованого акрилового клею, що змінюється в результаті виділення екзотермічного тепла. Так, при температурі навколишнього середовища 22-24^{0}С на початковій стадії процесу полімеризації внутрішня температура клею росте повільно, досягаючи протягом 20 хв для усіх складів у середньому 30-35^{0}С. Потім протягом 1-4 хв. вона різко підвищується до екзотермічного піка, рівного 80-105^{0}С, з наступним зниженням до температури середовища в середньому через 240 хв після змішування компонентів. При цьому після досягнення клеєм у період дополімеризації температури 30^{0}С подальше її

зниження в часі протікає однаково, незалежно від величини екстремальної температури і складу клею.

Склад акрилового клею незначно впливає на кінетику полімеризації. Зі збільшенням кількості затверджувача з 80 до 160 мас-частин на 100 мас-частин полімеру час настання екстремального піка зростає в середньому на 10 хв і складає: при 60 мас-частин затверджувача 103^0С, при 100 мас-частинах - 105^0С, при 140 мас-частинах - $99,5^0$С, при 160 мас-частинах - 98^0С.

У цьому випадку в клей вводили кварцовий пісок крупністю до 0,16 мм у кількості 150 мас-частин від ваги рідини.

Крупність наповнювача і його кількість також впливають на кінетику полімеризації композиції. Клей, що складається з 100 мас-частин затверджувача і 100 мас-частин полімеру, наповнений кварцовим піском із крупністю зерен 0,315 мм у кількості 200 і 300 мас-частин, має величину екзотермічного піка 105 і 82^0С, що настав відповідно через 39 і 43 хв. від початку змішування порошку і рідини.

Клей, що складається з 100 мас-частин полімеру і 100 мас-частин рідини, наповнений піском із крупністю зерен до 0,63 мм у кількості 200, 300 і 400 мас-частин, має величину екзотермічного піка 103, 86 і 79^0С, що настав відповідно через 36, 44 і 53 хв.

Інтенсивне затвердіння відбувається в період різкого підвищення внутрішньої температури полімеризованого клею. Це підтверджується також збільшенням швидкості проходження ультразвуку через зразки клею за цей же час у 4-6 разів у порівнянні з початковою. Надалі зростання швидкості ультразвуку незначне. При температурі навколишнього середовища, рівній 22-24^0С, через 130-140 хв. від початку змішування полімеру й затверджувача швидкість проходження ультразвуку для всіх складів стабілізується. Внутрішня температура клею при цьому складає 30-34^0С. Величина швидкості проходження ультразвуку залежно від складу клею змінюється незначно - у межах $(2,6\text{-}3,4)\text{x}10^5$ см/сек. Протягом перших двох годин з моменту змішування порошку і рідини при нормальній температурі навколишнього середовища, незалежно від складу клею міцність його досягає 70%. Температура середовища впливає на кінетику полімеризації композиції. При зниженні температури навколишнього середовища тривалість полімеризації збільшується.

При затвердінні акрилового клею, що складається з 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин рідини і кварцового піску з крупністю зерен 0,16 мм 150 мас-частин, екзотермічний пік настає при температурі навколишнього середовища, рівній 24^0С через 45 хв., а при 10^0С - через 292 хв. при величині екстремальних температур відповідно 105 і 69^0С. У період дополімеризації акриловий клей досягає температури навколишнього середовища 24^0С через 220 хв., а 10^0С - через 460 хв.

Наведені результати досліджень дозволяють стверджувати, що акриловий клей володіє високими технологічними властивостями. Він простий і надійний у приготуванні, має низьку в'язкість, причому остання не

залежить від температури навколишнього середовища. Це дає змогу заливати його в свердловину при будь-якій температурі навколишнього середовища і незначній відстані між поверхнею анкера і стінкою свердловини.

2.4.2. Когезійні властивості акрилового клею

Акриловий клей має високу когезійну міцність. Вона залежить від складу компаунда, кількості й крупності наповнювача [38-40]. Досліди показали, що зі збільшенням кількості полімеру в складі пластмаси міцність клею зростає незначно. Так, зі збільшенням кількості полімеру з 70 до 150 мас-частин міцність клею на стиск підвищилася з 64,19 до 71,29 МПа, на розтяг - від 14,86 до 14,54 МПа і на згин - з 34,78 до 35,91 МПа. Кількість затверджувача при цьому складала 140 мас-частин, а наповнювача - кварцового піску з крупністю зерен 0,16 мм - 160 мас-частин.

Зі збільшенням крупності зерен наповнювача спостерігається зменшення міцності клею. Наприклад, для акрилового клею, що складається з 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача і 120 мас-частин кварцового піску міцність на стиск, розтягання і згин відповідно складала: при використанні кварцового піску з крупністю зерен 0,16 мм 77,68, 20,89, 53,13 МПа; із крупністю до 0,315 мм - 77,63, 18,20, 42,98 МПа; із крупністю до 0,63 мм - 74,05, 17,39, 35,46 МПа.

На міцність акрилового клею значний вплив справляє кількість наповнювача. Наприклад, при збільшенні кількості піску з крупністю зерен 0,315 мм із 100 до 600 мас-частин міцність клею на стиск зменшується з 77,66 до 19,83 МПа, розтяг - з 18,20 до 2,36 МПа, згин - з 42,96 до 6,68 МПа. Збільшення кількості кварцового піску з крупністю зерен 0,63 мм із 100 до 600 мас-частин призводить до зменшення міцності на стиск із 74,05 до 9,99 МПа, розтягання - з 17,39 до 1,03 МПа, згин - з 35,46 до 2,46 МПа. При тому самому складі акрилового компаунда таке помітне зниження міцності клею зі збільшенням кількості наповнювача пояснюються недостатньою змочуваністю його поверхні пластмасою.

Дослідження показали, що оптимальними складами (виходячи з технологічності їх для ведення анкероустановочних робіт) є акрилові клеї, що складаються з 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача і кварцового піску в кількості 150 мас-частин (із крупністю зерен 0,16 мм), 200 мас-частин (із крупністю зерен 0,315 мм), 300 мас-частин (із крупністю зерен 0,63 мм). Ці склади володіють високою когезійною міцністю: перший склад має міцність на стиск 90,65 МПа, розтяг - 18,46 МПа і згин 40,77 МПа; другий - відповідно 32,0, 16,9 і 43,22 МПа; третій - відповідно 67,18, 14,87 і 32,68 МПа. Крім того, ці клеї мають високий коефіцієнт однорідності – від 0,76 до 0,92.

Дослідження також свідчать, що когезійна міцність акрилових клеїв не поступається когезійній міцності епоксидних клеїв, широко застосовуваних для анкероустановочних робіт. Акрилові клеї мають високу довговічність.

Дослідження морозостійкості показали наступне. При багаторазовому заморожуванні й відтаванні зразків акрилового клею міцність при стиску через 20 циклів заморожування зменшилася на 10%. Потім вона почала зростати і до 140 циклів досягла свого початкового значення. Збільшення міцності спостерігалося до 180 циклів і склало 2,1% у порівнянні з початковою величиною. Надалі (до 500 циклів) істотних змін міцності не спостерігалося.

У зразків акрилових клеїв після витримування у відпрацьованому машинному маслі протягом 700 діб міцність через 10 діб збільшилася: на стиск – на 11,3, розтяг – на 16,01, згин – на 14,7%. Надалі істотних змін міцності не спостерігалося.

Витримування аналогічних зразків у водяному середовищі показало зменшення міцності: на стиск через 160 діб - на 15,1, на розтягання через 120 діб – на 22,7 і на згин через 200 діб - на 18,3%. Надалі (до 700 діб впливу) значного зменшення міцності не спостерігалося.

Питання для самоперевірки до розділу 2

1. Які застосовуються матеріали для закладення анкерних болтів у бетон готових чи існуючих фундаментів?
2. Які полімерні клеї застосовуються для закладення анкерних болтів і їх фізико-механічні властивості?
3. Технологічні властивості клеїв, застосовуваних для кріплення анкерних болтів?
4. Час твердіння клеїв і цементно-піщаних сумішей і від чого він залежить?
5. Від чого залежать склад клеїв і сумішей, застосовуваних для закладення болтів?

Розділ 3

РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ АНКЕРНИХ БОЛТІВ

3.1. Розрахунок анкерних болтів

Анкерні болти (далі - болти) для кріплення будівельних конструкцій і устаткування до бетонних і залізобетонних елементів (фундаментів, силових полів, стін і т.п.) застосовують при розрахунковій температурі зовнішнього повітря до -65^{0}С.

У випадку нагрівання бетону конструкцій понад 50^{0}С, в які закладають болти, в розрахунках повинен враховуватися вплив температури на міцнісні характеристики матеріалу конструкцій, болтів, підлив, клейових складів і т.п.

Розрахункові технологічні температури встановлюються завданням на проектування.

Болти, призначені для роботи в умовах агресивного середовища і підвищеної вологості, слід проектувати з урахуванням додаткових вимог, запропонованих СНиП 2.03.11-85.

При наявності відповідного обґрунтування допускається застосування інших способів закріплення устаткування на фундаментах (наприклад, на віброгасниках, клеї та ін.).

За умовами експлуатації болти підрозділяються на розрахункові й конструктивні. До розрахункових відносяться болти, що сприймають навантаження, які виникають при експлуатації будівельних конструкцій чи роботі устаткування. До конструктивних відносяться болти, що передбачаються для кріплення будівельних конструкцій і устаткування, стійкість яких проти перекидання чи зрушення забезпечується власною вагою конструкції або устаткування. Конструктивні болти призначаються для рихтування будівельних конструкцій і устаткування під час їхнього монтажу і для забезпечення їх стабільної роботи при експлуатації, а також для запобігання їх випадкових зсувів.

Будівельними нормами СНиП 2.09.03-85 «Спорудження промислових підприємств» болти з відгином і анкерною плитою рекомендується застосовувати для кріплення конструкцій і устаткування без обмежень, а болти, встановлювані в свердловини, використовувати для кріплення будівельних конструкцій і устаткування, що не зазнають значних динамічних навантажень.

Для кріплення несучих колон будинків і споруд, обладнаних мостовими кранами, а також для висотних будинків і споруд, вітрове навантаження для яких є основним, не допускається застосовувати болти, встановлювані в свердловини, за винятком болтів з конічним кінцем, установлюваних способом віброзаглиблення з глибиною закладення не менше $20d_s$.

Разом з тим випробування анкерних болтів на модифікованих акрилових клеях щодо визначення міцності їхнього закладання в бетон при короткочасних, тривалих і динамічних впливах [43-51,63-68] показали, що такі клейові анкери можуть використовуватися для кріплення будівельних конструкцій і устаткування при дії на них різних видів навантажень.

Розрахункові опори металу болтів розтяганню R_s приймають за СНиП П-23-81* «Сталеві конструкції. Норми проектування».

Навантаження, що діють на болти, за характером впливу підрозділяються на статичні й динамічні. Величина, напрямок і характер навантажень від устаткування на болти повинні вказуватися у завданні на проектування фундаментів під устаткування.

Після установки будівельних конструкцій, устаткування і болтів у проектне положення вони повинні бути затягнуті на величину попереднього затягування F, яка для статичних навантажень приймається рівною $0{,}75P$, для динамічних навантажень $1{,}1P$ - розрахункове навантаження, що діє на болт.

Згідно з [69] площа поперечного перерізу болта (за різьбленням) визначається з умови міцності за формулою

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s}, \tag{3.1}$$

де k_0 = 1,35 - для динамічних навантажень; k_0 = 1,05 - для статичних навантажень.

Для знімних болтів з анкерними плитами, установлюваних вільно в трубі, косфіцієнт k_0 для динамічних навантажень приймають рівним 1,15.

При дії динамічних навантажень переріз болтів, визначений за формулою (3.1), треба перевірити на витривалість за формулою

$$A_s = \frac{1{,}8\chi\mu P}{\alpha R_s}, \tag{3.2}$$

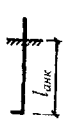
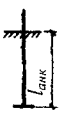
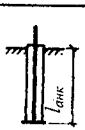
де χ - коефіцієнт навантаження, прийнятий за табл. 3.1 залежно від конструкції болта; μ - коефіцієнт, прийнятий за табл. 3.2 залежно від діаметра болта; α - коефіцієнт, що враховує число циклів навантаження і прийнятий за табл. 3.3.

При розрахунку кріплень будівельних конструкцій зусилля попереднього затягування і площу перерізу болтів визначають як для статичних навантажень, якщо в проекті немає спеціальних вказівок.

При груповій установці болтів для кріплення устаткування значення розрахункового навантаження P, що припадає на один болт, слід визначати для найбільш навантаженого болта за формулою

$$P = \frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum y_i^2}, \tag{3.3}$$

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів навантаження χ і стабільності затягування залежно від конструкції анкерних болтів

Конструкція болта	З відгином	З анкерною плитою		Прямий	Конічний (розпірний)
		глухий	знімний		
Діаметр болта (за різьбленням), d, мм	12-48	12-140	56-125	12-48	6-48
Ескіз					
Мінімальна глибина закладення $l_{анк}$	$25d$	$15d$	$30d$	$10d$ $(8d)^1$	$10d$ $(8d)^1$
Найменша відстань між болтами	$6d$	$8d$	$10d$	$5d$	$8d$
Найменша відстань від осі болта до грані фундаменту	$4d$	$6d$	$6d$	$5d$	$8d$
Коефіцієнт навантаження χ	0,4	0,4	0,25	0,6 $0,365^2$	0,55
Коефіцієнт стабільності затяжки k	1,9 $(1,3)^3$	1,9 (1,3)	1,5	2,5(2) $1,95(1,49)^4$ $1,82(1,43)^5$	2,3(1,8)

Примітки:

1. У дужках дана глибина закладення для болтів, встановлюваних на модифікованих акрилових клеях, а для конічних (розпірних) – діаметром до 16 мм.

2. У дужках наведені значення коефіцієнта k для статичних навантажень.

3. Значення χ для анкерів, забитих за допомогою модифікованих акрилових клеїв.

4. Значення коефіцієнта k для болтів, закладуваних на модифікованих акрилових клеях на глибину $8\,d_s$.

5. Значення коефіцієнта k для болтів, закладуваних на модифікованих акрилових клеях на глибину $10\,d_s$.

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта μ, що враховує масштабний фактор болта

Коефіцієнт μ	Діаметр болта, мм
0,9	10-12
1	16
1,1	20-24
1,3	30-36
1,6	42-48
1,8	56-72
2	80-90
2,2	100-125
2,5	140

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта α, що враховує число циклів навантаження болта

Коефіцієнт α	Число циклів навантаження
3,15	$0{,}05 \cdot 10^6$
2,25	$0{,}2 \cdot 10^6$
1,57	$0{,}8 \cdot 10^6$
1,25	$2 \cdot 10^6$
1	$5 \cdot 10^6$ і більш

де N - розрахункова поздовжня сила; M - розрахунковий згинальний момент; n - загальне число болтів; y_1 - відстань від осі повороту до найбільш вилученого болта в розтягнутій зоні стику; y_i - відстань від осі повороту до і-го болта, при цьому враховуються як розтягнуті, так і стиснуті болти.

Вісь повороту допускається приймати такою, що проходить через центр ваги опорної поверхні устаткування чи башмака колон.

Для наскрізних сталевих колон, що мають роздільні башмаки, величину розрахункового розтягуючого навантаження, що приходиться на один болт, слід визначати за формулою

$$P = (M - Nb)/nh, \qquad (3.4)$$

де N і M - поздовжня сила і згинальний момент у наскрізній колоні на рівні верху фундаменту; h - відстань між осями віток колони; n - кількість болтів кріплення вітки колони; b - відстань від центра ваги перерізу колони до осі стиснутої вітки.

Для башмаків сталевих суцільних колон значення розрахункового навантаження, що приходиться на один розтягнутий болт, слід визначати за формулою

$$P = (R_b b_s x - N)/n \ , \qquad (3.5)$$

де N - поздовжня сила в колоні; R_b - розрахунковий опір бетону фундаменту осьовому стиску, приймається залежно від класу бетону за табл. 3.4; n - кількість розтягнутих болтів, розташованих з однієї сторони бази колони; b_s - ширина опорної плити бази колони; x - висота стиснутої зони бетону під опорною плитою бази колони визначається за формулою

$$x = l_a - \sqrt{\frac{l_a^2 - 2N(e_0 + c)}{R_b b_s}} \ , \qquad (3.6)$$

де l_a - відстань від рівнодіючих зусиль у розтягнутих болтах до протилежної грані плити; c - відстань від осі колони до осі болта; e_0 - ексцентриситет додатку навантаження; l_s - довжина опорної плити бази колони.

Таблиця 3.4 – Розрахунковий опір бетону осьовому стиску

Клас бетону	R_b, МПа
В10	5,8
В12,5	7,3
В15	8,7
В20	11,5
В25	14,5
В30	17

Висота стиснутої зони χ обмежується умовою

$$\chi \le \zeta_R l_a \ , \qquad (3.7)$$

де

$$\zeta_R = \frac{0{,}85 - 0{,}008 R_b}{1 + \frac{R_s}{400}\left(1 - \frac{0{,}85 - 0{,}008 R_b}{1{,}1}\right)} \ . \qquad (3.8)$$

У формулі (3.8) R_b і R_{ba} в МПа.

У тих випадках, коли $\chi > \zeta_R l_a$, слід підвищити клас бетону фундаменту або збільшити опорну плиту, чи передбачити непряме армування.

Величину зусилля попереднього затягування болтів F_1 для сприйняття горизонтальних (зсувних) зусиль у площині сполучення устаткування з фундаментом для зсувостійких з'єднань (не допускаючих зсуву опорної конструкції на величину зазору між стержнем болта і стінками отвору в стакані) треба визначати за формулою

$$F_1 = k\frac{Q - Nf}{nf}, \tag{3.9}$$

де k - коефіцієнт стабільності затягування, прийнятий за табл. 3.1; Q - розрахункова зсувна сила, що діє в опорній площині; N - нормальна сила; f - коефіцієнт тертя, прийнятий рівним 0,25; n - число болтів.

При спільній дії вертикальних і горизонтальних (зсувних) сил значення зусилля затягування F_0 знаходиться за формулою

$$F_0 = F + F_1 / k. \tag{3.10}$$

Площа поперечного перерізу болту за різьбленням в цьому випадку визначається за формулою

$$A_s = \frac{kk_0 P + F_1}{kR_s}. \tag{3.11}$$

У зсуводопускних з'єднаннях зсувна сила, Q сприймається за рахунок опору стержня болта зрізу і визначається за формулою

$$Q \le 0{,}6 A_s R_s n. \tag{3.12}$$

При спільній дії осьових P і зсувних Q зусиль їхні припустимі величини можуть бути визначені за формулами

$$P \le 0{,}6 A_s R_s n, \tag{3.13}$$

$$Q \le 0{,}4 A_s R_s n. \tag{3.14}$$

Величина зусилля попереднього затягування болтів F_2 у цьому випадку повинна визначатися за формулою

$$F_2 = \frac{kA_s R_s}{2}. \tag{3.15}$$

Зсувну силу, Q, що діє в площині згинального моменту, для наскрізних сталевих колон, які мають роздільні башмаки під вітки колони, допускається сприймати силою тертя під стиснутою віткою колони, що задовольняє умову

$$Q \le \frac{f[M + V(h - b)]}{h}. \tag{3.16}$$

Зсувну силу для сталевих суцільних колон, а також для наскрізних колон при дії зсувної сили, перпендикулярно до площини згинального моменту (зв'язеві колони) допускається сприймати силою тертя від дії поздовжньої сили і сили затягування болтів і визначати за формулою

$$Q \le f \cdot \left(\frac{nA_s R_s}{4} + N \right). \tag{3.17}$$

Болти необхідно затягувати, як правило, з контролем величини крутного моменту $M_{кр}$, Н·м, значення якого знаходять за формулою

$$M_{кр} = F\zeta, \tag{3.18}$$

де ζ - коефіцієнт, що враховує геометричні розміри різьблення, тертя на торці гайки й у різьбленні, приймають за табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта, що враховує геометричні розміри різьблення і тертя на торці гайки

Діаметр болта, мм	ζ, м	Діаметр болта, мм	ζ, м
10	$2 \cdot 10^{-3}$	56	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$
12	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	64	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$
16	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	72	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$
20	$4{,}4 \cdot 10^{-3}$	80	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$
24	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	90	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$
30	$7{,}5 \cdot 10^{-3}$	100	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$
36	$9 \cdot 10^{-3}$	110	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$
42	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	125	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$
48	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	140	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$

Мінімальну глибину закладання болтів із сталі марки ВСтЗкп2 слід приймати за табл. 3.1. При інших марках сталі болтів чи іншому класі бетону за міцністю на стиск мінімальну глибину закладення $l_{анк_0}$ треба визначати за формулою

$$l_{анк_0} \geq l_{анк} m_1 m_2, \qquad (3.19)$$

де m_1 - відношення розрахункового опору розтяганню бетону класу В12,5 до розрахункового опору бетону прийнятого класу; m_2 - відношення розрахункового опору розтяганню металу болтів прийнятої марки сталі до розрахункового опору сталі марки ВСтЗкп2.

Для болтів діаметром 24 мм і більше, встановлюваних у свердловини готових фундаментів, коефіцієнт m_1 слід приймати рівним 1,0.

Значення розрахункових опорів бетону розтяганню R_{bt} залежно від класу бетону наведені в табл. 3.6.

Для зазначених класів бетону мінімальну глибину закладення дюбеля-втулки розпірної слід приймати $l_{анк} = 6d_s$, з урахуванням величин таких розрахункових параметрів: коефіцієнта навантаження $\chi = 0{,}4$; коефіцієнта стабільності затягування $k = 1{,}3$ (при динамічних впливах $k = 1{,}9$); відстані між осями дюбелів не менше $5d$, від краю фундаменту до осі дюбеля - $6d$.

Глибину закладення розпірних дюбелів, встановлюваних у менш жорсткі матеріали (цегла, керамзитобетон), треба збільшувати на $2d_s$ у порівнянні з глибиною закладення аналогічних дюбелів, встановлюваних у конструкції з бетону класу В12,5.

Таблиця 3.6 – Розрахунковий опір бетону розтяганню

Клас бетону	R_{bt}, МПа
B10	0,61
B12,5	0,7
B15	0,8
B20	0,95
B25	1,1
B30	1,2

При конструктивному кріпленні устаткування для болтів з відгинами глибину закладання в бетон приймають рівною $15d_s$, для болтів з анкерними плитами $10d_s$, а для болтів, встановлюваних у свердловини - $5d_s$.

Найменші припустимі відстані між осями болтів і від осі крайніх болтів до грані фундаменту наведені в табл. 3.1.

Відстані між болтами, а також від осі болтів до грані фундаменту допускається зменшувати на $2d_s$ при відповідному збільшенні глибини закладення болта на $5d_s$.

Відстань від осі болта до грані фундаменту допускається зменшувати ще на один діаметр при наявності спеціального армування вертикальної грані фундаменту в місці установки болта.

У всіх випадках відстань від осі болта до грані фундаменту не повинна бути менше 100 мм для болтів діаметром 30 мм включно, 150 мм - для болтів діаметром до 48 мм і 200 мм - для болтів діаметром більше 48 мм.

При установці спарених болтів, наприклад для закріплення несучих сталевих колон будинків і споруд, повинна передбачатися загальна анкерна плита з відстанню між отворами, рівною проектній відстані між осями болтів, або слід встановлювати одиночні болти з «розбігом» за глибиною. Глибину закладання спарених болтів при відстані між їхніми осями $8d_s$ і більше слід призначати $5d_s$, при відстані менше $8d_s$ - рівною $20d_s$.

Відстань від краю плити до осі болта слід обирати не менше $2d_s$, при цьому площа анкерної плити має бути не менше $32d_s$.

Розрахункові площі поперечних перерізів болтів (за різьбленням) залежно від їхнього діаметра наведені в табл. 3.7.

Діаметри конструктивних болтів вказані в завданні на проектування фундаментів. При відсутності таких вказівок діаметри конструктивних болтів призначаються відповідно до діаметра отворів у опорних частинах устаткування.

Таблиця 3.7 – Розрахункові площі поперечних перерізів болтів (за різьбленням) залежно від їхнього діаметра

Діаметр різьблення болтів	Розрахункова площа поперечного перерізу болтів за різьбленням A_s, см^2	Діаметр різьблення болтів	Розрахункова площа поперечного перерізу болтів за різьбленням A_s, см^2
М10	0,571	М56	20,29
М12	0,842	М64	26,75
М16	1,57	М72х6	34,58
М20	2,45	М80х6	43,44
М24	3,52	М90х6	55,91
М30	5,60	М100х6	69,95
М36	8,26	М110х6	85,56
М42	11,2	М125х6	111,91
М48	19,72	М140х6	141,81

3.2. Приклади розрахунку анкерних болтів різних конструкцій

Нижче наводяться приклади розрахунків анкерних болтів різних конструкцій. При цьому враховувалась практика розрахунків різних авторів і наукових установ [27,28,36,37,41,42,57].

Приклад 1. Визначити діаметр вигнутого болта для кріплення устаткування (рис. 1.1,а) і глибину його закладання в бетон при таких вихідних даних. Розрахункове динамічне навантаження на болт P = 50 кН, сталь Ст 20 ($R_s = 1{,}85 \cdot 10^5$ кПа); клас бетону фундаменту В15.

1. За табл. 3.1 для даного болта: коефіцієнт навантаження $\chi = 0{,}4$; коефіцієнт стабільності затягування $k = 1{,}9$; глибина закладення болта в бетон $l_{анк} = 25d_s$ (для бетону класу В12,5).

2. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.1):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1{,}35 \cdot 50}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}00037\,\text{м}^2 = 3{,}7\,\text{см}^2,$$

де $k_0 = 1{,}35$.

За табл. 3.7 приймаємо болт з діаметром різьблення М30 (A_s = 5,60 см^2).

3. Перевіряємо прийняту площу перерізу болта на витривалість за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1{,}8\chi\mu P}{\alpha R_s} = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}3 \cdot 50}{1 \cdot 1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}000253 \text{ м}^2 = 2{,}53 \text{ см}^2,$$

де $\mu = 1{,}3$ (за табл. 5.2); $\alpha = 1$ (за табл. 5.3).

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

4. Зусилля попереднього затягування болтів згідно з п. 8 додатку 2 [69]

$$F = 1{,}1P = 1{,}1 \cdot 50 = 55 \text{ кН}.$$

5. Глибину закладання болтів у бетон $l_{анк_0}$ визначаємо за формулою (3.19)

$$l_{анк_0} \geq l_{анк} m_1 m_2 = 25 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}875 \cdot 1 = 0{,}66 \text{ м},$$

де $m_1 = 0{,}7 / 0{,}8 = 0{,}875$; $m_2 = 1{,}85 \cdot 10^5 / 1{,}85 \cdot 10^5 = 1$.

Приклад 2. Визначити діаметр болта (рис. 1.13,б) для кріплення устаткування. Розрахункове динамічне навантаження на болт P = 50 кН, сталь ВСт 3 кп 2, клас бетону фундаменту В15, глибина закладання за допомогою модифікованого акрилового клею $l_{анк} = 8d_s$. Число циклів навантаження складає $6 \cdot 10^6$.

1. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.1)

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1{,}35 \cdot 50}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}000406 \text{ м}^2 = 4{,}06 \text{ см}^2,$$

де $k_0 = 1{,}35$. Приймаємо болт з діаметром різьблення М30. У цьому випадку $A_s = 5{,}6$ см^2.

2. Перевіряємо прийнятий болт на витривалість. Здійснюємо це за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1{,}8\chi\mu}{\alpha} \cdot \frac{P}{R_s}.$$

Згідно з табл. 3.1 $\chi = 0{,}365$. Коефіцієнти μ і α згідно з табл. 3.2 і 3.3 відповідно рівні $\mu = 1{,}3$ і $\alpha = 1$, де μ - коефіцієнт, що залежить від діаметра болта, α - коефіцієнт, що враховує число циклів навантаження.

Тоді

$$A_s = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}365 \cdot 1{,}3}{1} \cdot \frac{50}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}000231 \text{ м}^2 = 2{,}31 \text{ см}^2.$$

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

3. Зусилля попереднього затягування згідно з п. 8 додатку 2 [69]

$$F = 1{,}1P = 1{,}1 \cdot 50 = 55 \text{ кН}.$$

4. Глибина закладення анкера $l_{анк} = 8d_s = 8 \cdot 3{,}0 = 24$ см.

Приклад 3. Визначити діаметр болта з анкерною плитою (рис. 1.1,г) у зсувостійкому з'єднанні для кріплення устаткування, експлуатованого при температурі зовнішнього повітря –45°С, і глибину його закладання в бетон при наступних вихідних даних. Розрахункове статичне навантаження на болт P = 130 кН, кількість болтів n = 4, зсувна сила Q = 60 кН, вага устаткування N = 10 кН. Клас бетону фундаменту В12,5.

1. За умовами експлуатації марку сталі для болтів приймаємо 09М2С-6 (табл. 1.1), $R_s = 1{,}8 \cdot 10^5$ кПа.

2. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.11)

$$A_s = \frac{k \cdot k_0 P + F_1}{n \cdot k \cdot R_s} = \frac{1{,}3 \cdot 1{,}05 \cdot 130 + 74{,}75}{1{,}3 \cdot 1{,}8 \cdot 10^5} = 0{,}00108 \text{ м}^2 = 10{,}8 \text{ см}^2,$$

де k = 3 (за табл. 3.1), $k_0 = 1{,}05$.

F_1 визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k\frac{Q - Nf}{n \cdot f} = 1{,}3 \cdot \frac{60 - 10 \cdot 0{,}25}{4 \cdot 0{,}25} = 74{,}75 \text{ кН}.$$

За табл. 3.7 приймаємо болт з діаметром різьблення М42 ($A_s = 11{,}2$ см^2).

3. Необхідне зусилля попереднього затягування болтів визначаємо за формулою (3.10)

$$F_0 = F + F_1 / k = 0{,}75 \cdot 130 + \frac{74{,}75}{1{,}3} = 155 \text{ кН}.$$

4. Глибину закладання болтів у бетон $l_{анк_0}$ встановлюємо за формулою (3.19)

$$l_{анк_0} \geq l_{анк} m_1 m_2 = 15 \cdot 0{,}042 \cdot 1 \cdot 0{,}97 = 0{,}65 \text{ м},$$

де $m_1 = 0{,}7 / 0{,}7 = 1$; $m_2 = 1{,}8 \cdot 10^5 / 1{,}85 \cdot 10^5 = 0{,}097$.

Приклад 4. Визначити діаметр болта (рис. 1.13,б) для кріплення устаткування при таких вихідних умовах. Розрахункове статичне навантаження на болт P = 130 кН, кількість болтів n = 12, зсувна сила Q = 60 кН, вага устаткування N = 40 кН. Клас бетону фундаменту В12,5, глибина закладання болтів за допомогою модифікованих акрилових клеїв $l_{анк} = 8d_s$.

1. Площу поперечного перерізу болта знаходимо за формулою (3.11)

$$A_s = \frac{k \cdot k_0 P + F_1}{n \cdot k \cdot R_s},$$

де k =1,49 - коефіцієнт стабільності затягування (табл. 3.1); $k_0 = 1{,}05$; F_1 - зусилля попереднього затягування болтів при сприйнятті ними горизонтальних зсувних зусиль. Це зусилля визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k\frac{Q - Nf}{n \cdot f} = 1{,}49 \cdot \frac{60 - 40 \cdot 0{,}25}{12 \cdot 0{,}25} = 24{,}85 \text{ кН},$$

де $f = 0{,}25$ - коефіцієнт тертя металу по бетону.

2. Площа анкерного болта за різьбленням дорівнює:

$$A_s = \frac{1{,}49 \cdot 1{,}05 \cdot 130 + 24{,}85}{1{,}49 \cdot 1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}00083 \text{ м}^2 = 8{,}3 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болт з діаметром різьблення М 36 ($A_s = 8{,}36$ см^2).

3. Необхідне зусилля попереднього затягування F_0 в цьому випадку відповідно до формули (3.10) становить

$$F_0 = F + F_1 / k = 0{,}75 \cdot 130 + \frac{24{,}85}{1{,}49} = 114{,}2 \text{ кН},$$

де $F = 0{,}75P$.

4. Глибина закладення анкера $l_{анк} = 8d_s = 28{,}8$ см.

Приклад 5. Визначити діаметр болта (рис. 1.13,б) для кріплення технологічного устаткування при таких вихідних даних. Розрахункова схема кріплення устаткування подана на рис. 3.1, розрахунковий динамічний перекидний момент від устаткування M = 1200 кН·м, власна вага устаткування N = 100 кН. Кількість болтів n = 8; відстані від осі повороту устаткування до болтів $y_1 = 0$; $y_2 = 1{,}45$ і $в_3 = 2$ м. Клас бетону фундаменту В15, глибина закладення болта модифікованим акриловим клеєм $l_{анк} = 8d_s$, число циклів динамічного навантаження $1{,}6 \cdot 10^6$.

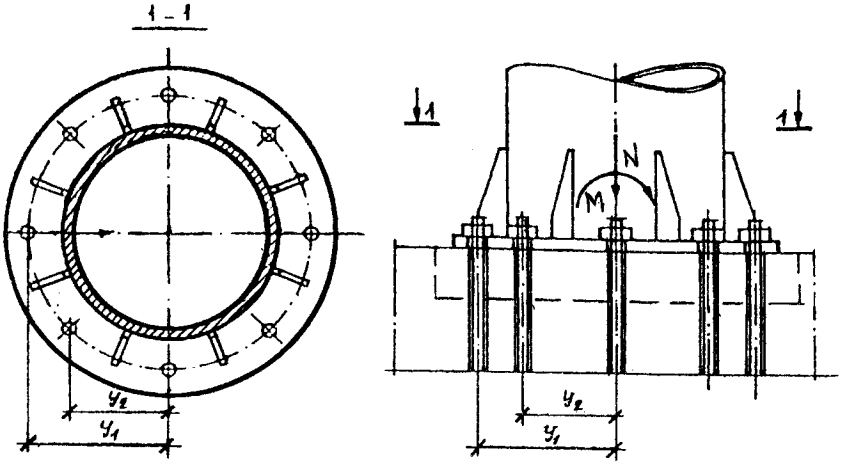


Рис. 3.1 - Розрахункова схема визначення зусиль при груповій установці болтів для кріплення технологічного устаткування

1. При груповій установці анкерних болтів для кріплення устаткування розрахункове навантаження, що припадає на один болт, визначаємо за формулою (3.3)

$$P = -\frac{N}{n} + \frac{M_y}{\sum y_i^2}.$$

де $\sum y_i^2 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 = 1{,}45^2 \cdot 4 + 2^2 \cdot 2 = 16{,}41$ м^2.

Тоді

$$P = -\frac{100}{8} + \frac{1200 \cdot 2}{16{,}41} = 133{,}75 \text{ кН}.$$

2. Площа перерізу болта за різьбленням дорівнює:

$$A_s = \frac{k_0 \cdot P}{R_s} = \frac{1{,}05 \cdot 133{,}75}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}00076 \text{ м}^2 = 7{,}6 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болти з діаметром різьблення М 36 ($A_s = 8{,}36$ см^2).

3. Перевіряємо прийнятий болт на витривалість. Здійснюємо це за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1{,}8\chi\mu}{\alpha} \cdot \frac{P}{R_s}.$$

Згідно з табл. 5.1 $\chi = 0{,}339$. Коефіцієнти μ і α згідно з табл. 3.2 і 3.3 відповідно рівні $\mu = 1{,}3$ і $\alpha = 1{,}36$

$$A_s = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}339 \cdot 1{,}3}{1{,}36} \cdot \frac{133{,}75}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}000\,42 \text{ м}^2 = 4{,}2 \text{ см}^2.$$

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

4. Зусилля попереднього затягування згідно з п. 8 додатку 2 [69]

$$F = 1{,}1P = 1{,}1 \cdot 133{,}75 = 147{,}1 \text{ кН}.$$

5. Глибина закладення анкера $l_{анк} = 8d_s = 28{,}8$ см.

Приклад 6. Визначити діаметр болта (рис. 1.13,б) для кріплення сталевої колони суцільного перерізу (рис. 3.2) при таких вихідних даних: M = 900 кН·м; N = 1200 кН; Q = 100 кН; C = 0,4 м; $l_s = 0{,}9$ м; $b_s = 0{,}5$ м; $R_b = 8{,}7$ МПа, де c - відстань від осі колони до осі анкерного болта; l_s і b_s - довжина і ширина опорної плити бази колони.

1. Визначаємо ексцентриситет прикладання навантаження:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{900}{1200} = 0{,}75 \text{ м}.$$

2. Знаходимо величину стиснутої зони бетону під опорною плитою за формулою (3.6)

$$x = l_s - \sqrt{\frac{l_s^2 - 2N(e_0 + c)}{R_b \cdot b_s}} = 0{,}9 - \sqrt{0{,}9^2 - \frac{2 \cdot 1200(0{,}75 + 0{,}4)}{87000{,}5}} = 0{,}48 \text{ м}.$$

3. Розрахункове навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, відповідно до формули (3.5) дорівнює:

$$P = \frac{R_b \cdot b_s \cdot x - N}{n} = \frac{8700 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}48 - 1200}{2} = 444 \text{ кН},$$

де $n = 2$ - кількість розтягнутих (що висмикуються) болтів.

4. Визначаємо необхідну площу перерізу болта (за різьбленням):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1{,}05 \cdot 444}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}00252 \text{ м}^2 = 25{,}2 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болт з діаметром різьблення М64 (A_s = 26,75 см^2).

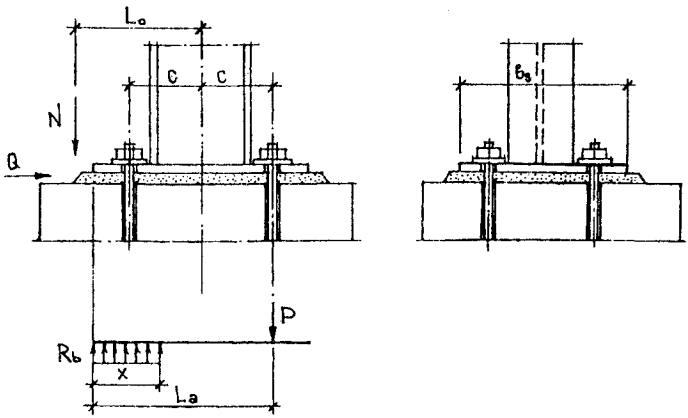


Рис. 3.2 - Розрахункова схема зусиль в опорному перерізі для сталевих колон суцільного типу

5. Перевіряємо можливість сприйняття зсувної сили у площині сполучення бази колони з фундаментом за формулою (3.17)

$$Q \le f\left(\frac{nA_sR_s}{4} + N_1\right) = 0{,}25 \cdot \left(\frac{2 \cdot 1{,}85 \cdot 10^5 \cdot 26{,}75}{4} + 600\right) = 211{,}9 \text{ кН},$$

де N_1 - мінімальна поздовжня сила, що відповідає навантаженням, від яких визначається зсувна сила (N_1 = 600 кн).

Тоді Q = 100 кН < 211,9 кН - умова виконана.

6. Глибина закладення болта: $l_{анк} = 10d_s = 10 \cdot 64 = 640$ см.

7. Зусилля попереднього затягування болта при спільній дії вертикальних і зсувних сил визначаємо за формулою (3.10):

$$F_0 = F + F_1 / k,$$

де k - коефіцієнт стабільності затягування згідно з табл. 2.1 дорівнює 1,7; F_1 - зусилля попереднього затягування болтів для сприйняття зсувних зусиль визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k \cdot \frac{Q - Nf}{nf} = 1{,}7 \cdot \frac{100 - 1200 \cdot 0{,}25}{4 \cdot 0{,}25} = -340{,}0 \text{ кН}.$$

Тоді $$F_0 = F = 333{,}0 \text{ кН}.$$

Приклад 7. Визначити розрахункове навантаження, що припадає на найбільш навантажений болт, за розрахунковою схемою, наведеної на рис. 3.1, при таких вихідних даних. Розрахунковий перекидний момент від устаткування M = 1200 кН·м, власна вага устаткування N = 100 кН. Кількість болтів n = 8, відстань від осі повороту устаткування до найбільш віддаленого болта $y_{i_1} = 0$; $y_{i_2} = 1{,}45$ м; $y_{i_3} = y_1 = 2$ м.

Розрахункове зусилля (розтягування) на найбільш навантажений болт визначаємо за формулою (3.3)

$$P = -\frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum y_i^2} = -\frac{100}{8} + \frac{1200 \cdot 2}{16{,}41} = 133{,}75 \text{ кН},$$

де $\sum y_i^2 = 1{,}45^2 \cdot 4 + 2^2 \cdot 2 = 16{,}41$ м^2.

Приклад 8. Визначити розрахункове навантаження, що припадає на болт, і діаметр болта з анкерною плитою для кріплення ґратчастої сталевої колони (рис. 3.3) при таких вихідних даних: M = 8000 кН·м; N = 6000 кН; Q = 60 кН; h = 2 м; $R_s = 1{,}75 \cdot 10^5$ кПа (сталь марки 09М2С).

$b = h/2 = 1$ м, $n = 2$.

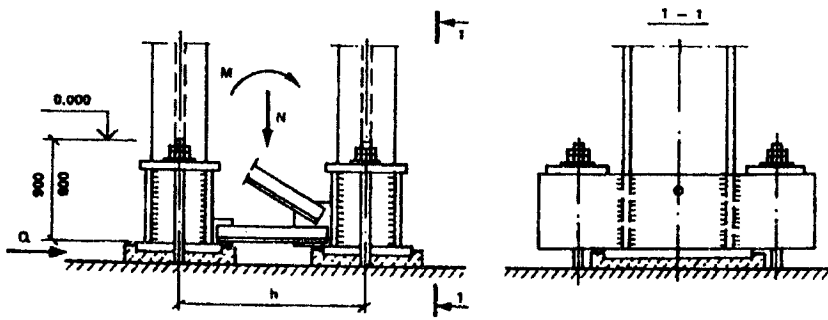


Рис. 3.3 – Розрахункова схема зусиль в опорному перерізі сталевої колони ґратчастого типу

1. Розрахункове навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, знаходимо за формулою (3.4)

$$P = (M - Nb)/nh = (8000 - 6000 \cdot 1)/2 \cdot 2 = 500 \text{ кН}.$$

2. Визначаємо необхідну площу перерізу одного болта (за різьбленням):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1{,}05 \cdot 500}{2{,}2 \cdot 10^5} = 0{,}0024 \text{ м}^2 = 24 \text{ см}^2.$$

За табл. 3.7 приймаємо болт з діаметром різьблення М64 (A_s = 26,75 см^2).

3. Глибину закладення для болтів з анкерною плитою приймаємо рівною $15d$ (табл. 3.1), для бетону фундаменту класу В12,5 і сталі марки 09М2С.

$$l_{анк} = 15 d_s = 15 \cdot 0{,}072 = 1{,}08 \text{ м}.$$

4. Перевіряємо можливість сприйняття зсувної сили у площині сполучення бази колони з фундаментом за формулою (3.16)

$$Q \le \frac{f[M + V(h-b)]}{h} = \frac{0{,}25 \cdot [8000 + 6000(3 - 1{,}5)]}{3} = 1417 \text{ кН},$$

де h - відстань між осями віток колон (h = 3 м); b - відстань від центра ваги колони до осі стиснутої вітки (b = 1,5 м); Q = 300 кН ≤ 1417 кН - умова виконана.

Приклад 9. Визначити розрахункове навантаження, що припадає на болт і діаметр болта на епоксидному клеї для кріплення сталевої колони суцільного перерізу (рис. 3.2) при таких вихідних даних: M = 4500 кН·м; N = 600 кН; Q = 100 кН; c = 0,4 м; $l_s = 0{,}9$ м; $b_s = 0{,}5$ м; $R_b = 8{,}7$ МПа; $R_s = 185$ МПа (сталь марки ВСт3кп2).

1. Визначаємо ексцентриситет прикладання навантаження:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{450}{600} = 0{,}75 \text{ м}.$$

2. Визначаємо величину стиснутої зони бетону під опорною плитою за формулою (3.6)

$$x = l_s - \sqrt{\frac{l_s^2 - 2N(e_0 + c)}{R_b b_s}} = 0{,}9 - \sqrt{\frac{0{,}9^2 - 2 \cdot 600 \cdot (0{,}75 + 0{,}4)}{8700 \cdot 0{,}5}} = 0{,}2 \text{ м}.$$

3. Перевіряємо виконання умови:

$x = 0{,}2$ м $\le \zeta_R l_s = 0{,}7 \cdot 0{,}9 = 0{,}63$ м - умова виконана, де ζ_R знаходимо за формулою (3.8)

$$\zeta_R = \frac{0{,}85 - 0{,}008R_b}{1 + \frac{R_s}{400}\left(1 - \frac{0{,}85 - 0{,}008R_b}{1{,}1}\right)} = \frac{0{,}85 - 0{,}008 \cdot 8{,}7}{1 + \frac{185}{400}\left(1 - \frac{0{,}85 - 0{,}008 \cdot 8{,}7}{1{,}1}\right)} = 0{,}706.$$

4. Розрахункове навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, визначаємо за формулою (3.5)

$$P = \left(R_b b_s x - M\right)/n = (8700 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}2 - 600)/2 = 135 \text{ кН},$$

де n - кількість розтягнутих болтів ($n = 2$).

5. Знаходимо необхідну площу перерізу одного болта (за різьбленням):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1{,}05 \cdot 135}{1{,}85 \cdot 10^5} = 0{,}00077 \text{ м}^2 = 7{,}7 \text{ см}^2.$$

За табл. 3.7 приймаємо болт з діаметром різьблення М36 ($A_s = 8{,}26$ см^2).

6. Глибину закладення для болтів на епоксидному клеї приймаємо рівною $10d_s$ (табл. 5.1), для бетону фундаменту класу В12,5 і сталі марки ВСт3кп2:

$$l_{анк} = 15d_s = 10 \cdot 0{,}036 = 0{,}36 \text{ м}.$$

7. Перевіряємо можливість сприйняття зсувної сили у площині сполучення бази колони з фундаментом за формулою (3.17)

$$Q \le f \cdot \left(\frac{n' A_s R_s}{4} + N\right) = 0{,}25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 0{,}000826 \cdot 1{,}85 \cdot 10^5}{4 + 600}\right) = 185{,}6 \text{ кН},$$

де N - поздовжня сила, що відповідає навантаженням, від яких визначається зсувна сила; n' - кількість болтів, що сприймають зсувну силу; $Q = 100$ кН < 185,6 кН - умова виконана.

3.3. Проектування анкерних болтів і їх позначення на кресленнях

Відповідно до розрахунків, наведених в параграфі 3.1, приймається конструкція обраного типу анкерного болта.

При робочому проектуванні фундаментів під устаткування болти на кресленнях у плані наносяться умовними позначеннями і маркіруються двома буквами і цифрою (рис. 3.4), де прописна буква «А» позначає діаметр різьблення, мала буква «в» - довжину болта, цифровий індекс «2» - установну марку й оцінку верху болта даної марки.

Болти в плані прив'язуються до розбивочних осей устаткування (рис. 3.4) і відображуються в специфікації за формою, наведеною в табл. 3.8.

Приклад специфікації болтів наведений у табл. 3.9.

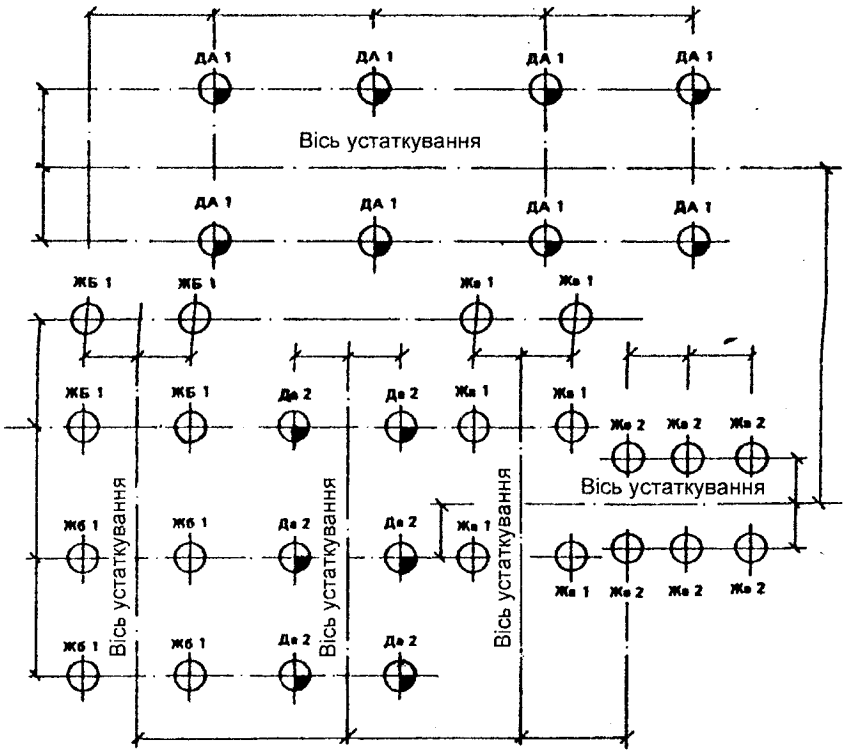
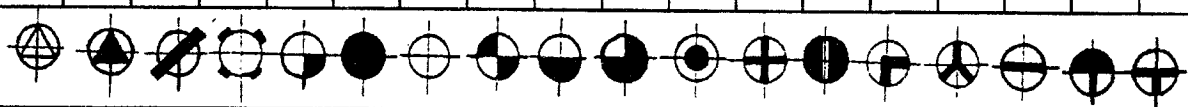


Рис. 3.4 – Прив'язка болтів у плані до розбивочних осей устаткування

Таблиця 3.8 – Умовні позначення болтів

Діаметр різьби болтів, мм		10	12	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72	80	90	100	110	125	140
Умовні позначення																			
Марка болта	заготовочна	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л	М	Н	П	Р	С	Т	У	Ф
		а, б, в, г, д, е ...																	
	установочна	1, 2, 3, 4, 5, 6 ...																	

Таблиця 3.9 – Специфікація болтів

Марка фундаменту	Марка болтів			Діаметр різьби болтів, мм	Кількість болтів, шт	Позначення, мм		Довжина виступаючої частини, мм	Довжина болта, мм
	заготовочна	установочна	умовні позначення			верху болта	верху бетону		
ФО-3	Да	1		М24	8	+50	-150	200	1400
	Да	2		М24	6	-100	-300	200	1400
	Жа	1		М36	6	-50	-350	300	1800
	Жа	2		М36	6	-150	-450	300	1800
	Жб	1		М36	8	-100	-500	400	1900

Питання для самоперевірки до розділу 3

1. Види навантажень, що впливають на анкерні болти?
2. У яких випадках використовуються конструктивні болти?
3. На які конструкції анкерних болтів поширюються обмеження і які?
4. Як визначається площа перетину болта залежно від виду навантаження?
5. Що таке зусилля попереднього затягування болтів і від чого залежить його величина?
6. Які коефіцієнти використовуються при розрахунку анкерних болтів і від чого вони залежать?
7. Як визначаються анкерні болти на кресленнях при їхньому проектуванні?

Розділ 4

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КЛЕЙОВОГО АНКЕРНОГО З'ЄДНАННЯ

4.1. Напружено-деформований стан клейового анкерування сталевих стержнів у бетон

4.1.1. Напруження в з'єднанні

Через істотне розходження фізико-механічних властивостей і поперечних розмірів анкера, клейового шару і бетону, інтенсивність напружень по поверхні контактів клей-анкер, клей-бетон неоднакова і, отже, тут неминуче виникає концентрація напружень. Її недооцінка може привести до помилкових уявлень про міцність клейового з'єднання. Визначення напружень в елементах з'єднання - складне теоретичне завдання. Вибір адекватної розрахункової схеми залежить від геометричних розмірів з'єднання і фізико-механічних властивостей матеріалів, що його утворюють.

Сталь і бетон - класичні конструктивні матеріали. Рівень напруженого стану анкерного з'єднання на клеї (епоксидному, акриловому та ін.) при експлуатаційних навантаженнях такий, що сталь і бетон можна приймати пружніми тілами, що підпорядковуються закону Гука. Епоксидні й акрилові клеї також підпорядковуються цьому законові. Тому напружений стан анкерного з'єднання на першій стадії роботи залізобетонного елемента в цілому може бути описаний залежностями теорії пружності для випадку закладення як гладких стержнів, так і періодичного профілю.

Оскільки анкер віддалений від грані залізобетонної конструкції (фундаменту, колони), то в розрахунковій схемі прийнято, що останній знаходиться в необмеженому масиві. Тоді напружено-деформований стан анкерного з'єднання може бути отриманий в результаті вирішення осесиметричної задачі теорії пружності для тришарового тіла: сталевий циліндр-анкер, порожній циліндр-клей, зовнішній циліндр-бетонний масив.

Описане нижче вирішення дозволяє одержати картину розподілу напруження (кількісну і якісну) між елементами з'єднання.

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 4.1) розглядається осесиметрична задача теорії пружності для трьох тіл. Така постановка питання дає змогу більш строго підійти до вирішення основних питань анкерування; визначення закладення анкера в бетонний масив, питання про вплив діаметра анкера і товщини клейового шару, фізико-механічних властивостей клею і бетону на напружено-деформований стан анкерного з'єднання на клеї.

При розгляді напружено-деформованого стану тіл обертання під дією осесиметричного навантаження напруження і переміщення виражаються через функцію напружень А. Лява [15,33,82].

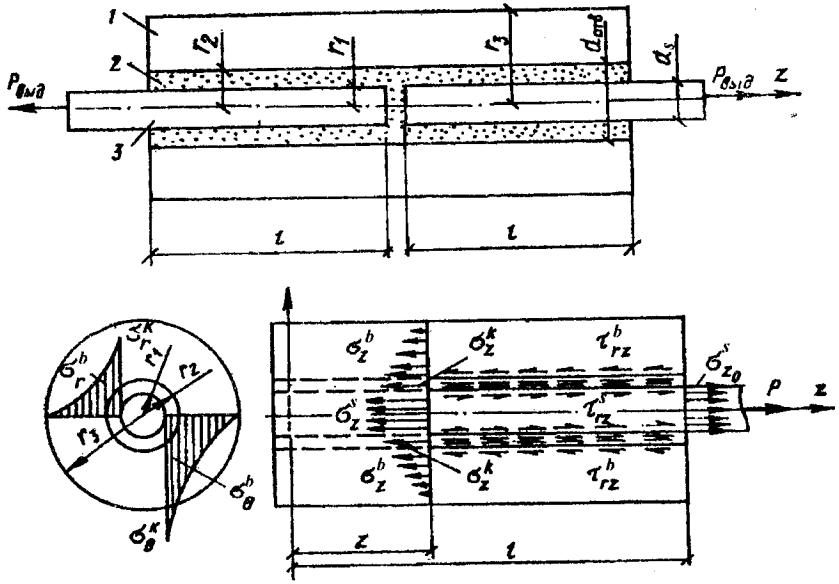


Рис. 4.1 - Розрахункова схема анкерного з'єднання на клеях:
1 - бетонний циліндр; 2 - клейовий циліндр; 3 - сталевий анкер

У результаті вирішення осесиметричної задачі теорії пружності при граничних умовах, що відповідають висмикуванню анкера з двошарового середовища, отримано вирази дотичних τ_{rz} нормальних осьових σ_z, радіальних σ_r, і колових σ_θ напружень, осьових W і радіальних i переміщень:

а) у клейовому циліндрі на контакті клей-анкер

$$\tau_{rz}^{\kappa} = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_1 \left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.1}$$

$$\sigma_z^{\kappa} = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_2 \left[B_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.2}$$

$$\sigma_r^{\kappa} = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_3 \left[B_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) + D_s I_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right] -$$

$$- \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{lr}\right)^2 \varphi_4 \left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.3}$$

$$\sigma_\theta^{(\kappa)} = -2\mu_k \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \cos k\lambda_s \left[B_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l} + D_s I_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right)\right] +$$

$$+\sum_s \frac{\lambda_s}{lr}\varphi_4\left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)-D_s I_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.4}$$

$$u^{(k)}=\frac{1+\mu_к}{E_к}\sum_s \frac{\lambda_s}{l}\varphi_4\left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)-D_s I_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.5}$$

$$W^{к}=\frac{1+\mu_к}{E_к}\sum_s \frac{\lambda_s}{l}\varphi_5\left[B_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)+D_s I_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)\right]; \tag{4.6}$$

б) у бетоні на контакті клей-бетон

$$\tau_{rz}^{(b)}=-\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\varphi_1 L_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.7}$$

$$\sigma_z^{(b)}=-\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\varphi_2 L_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.8}$$

$$\sigma_r^{(b)}=-\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\varphi_3 L_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)-\sum_s\frac{\lambda_s}{lr}\varphi_6 L_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.9}$$

$$\sigma_\theta^{(b)}=-2\mu_b\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\cos k\lambda_s L_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right)+\sum_s\frac{\lambda_s}{lr}\varphi_6 L_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.10}$$

$$u^{(b)}=\frac{1+\mu_b}{E_b}\sum_s\frac{\lambda_s}{l}\varphi_6 B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.11}$$

$$W^{(b)}=\frac{1+\mu_b}{E_b}\sum_s\frac{\lambda_s}{l}\varphi_7 L_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right); \tag{4.12}$$

в) в анкері за довжиною його закладення

$$\begin{aligned}\sigma_z^{(s)}=\sigma_{z0}^{(s)}&-2l_0\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\varphi_8\left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0}\right)-D_s I_1\left(\frac{\lambda_s}{l_0}\right)\right]+\\&+2\mu_s\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2\varphi_3\left[B_s K_0\left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0}\right)+D_s I_0\left(\frac{\lambda_s}{l_0}\right)\right]+\\&+2\mu_s\sum_s\left(\frac{\lambda_s}{lr_1}\right)^2\varphi_4\left[B_s K_1\left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0}\right)-D_s I_1\left(\frac{\lambda_s}{l_0}\right)\right].\end{aligned} \tag{4.13}$$

У формулах (4.1) - (4.13) прийнято позначення:

$$k=\frac{z}{l}; \tag{4.14}$$

$$l_0=\frac{l}{r_1}; \tag{4.15}$$

$$l_1=\frac{l}{r_2}, \tag{4.16}$$

де l - глибина закладення анкера; r_1 - радіус анкера; r_2 - радіус свердловини в бетоні; λ_s - корені трансцендентного рівняння $\sin\lambda_s$, $\cos\lambda_s = 0$ при S = 1, 2, 3...; $K\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)$ - функція Макдональда; $I_n\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)$ - Бесселева функція чисто уявного аргументу; B_s, D_s, L_s довільні параметри, при визначенні яких використовують граничні умови, вказані вище; $\mu_s, \mu_b, \mu_к$ - коефіцієнти Пуассона відповідно анкера, бетону і клею; $E_s, E_b, E_к$ - модулі пружності відповідно анкера, бетону і клею; φ_n - величина, що залежить від k і λ_s.

На підставі розрахунків, проведених на ПК за виразами (4.4) - (4.16), установлений характер розподілу напружень і переміщень, що виникають на контактах клей - анкер, клей - бетон у забитій частині анкера при впливі висмикувального зусилля $P_{вид} = \frac{\pi d_s^2}{4}\sigma_{z_0}^s$, де d_s - діаметр анкера, $\sigma_{z_0}^s$ - напруження на завантаженому кінці анкера, МПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді залежностей, що характеризують напружено-деформований стан анкерного з'єднання при прикладанні висмикувального зусилля до анкера (рис. 4.2). Початок координат залежностей розташовано на кінці забитої в бетон частини анкера. Для наочності й зручності зіставлення залежності подані у відносних величинах $\sigma_z/\sigma_{z_0}^s$, $\sigma_r/\sigma_{z_0}^s$, $\sigma_\Theta/\sigma_{z_0}^s$ чи $\sigma_{rz}/\sigma_{z_0}^s$ від z/l, де z - ордината перерізу на глибині закладення стержня.

Аналіз розподілу нормальних осьових напружень в анкері σ_z^s за довжиною його закладання (рис. 4.2,а) показує, що максимальні розтягуючі напруження виникають на початку глибини закладання. Це справляє визначний вплив на міцність анкерного з'єднання.

Епюри дотичних напружень (рис. 4.2,б) показують, що останні є максимальними в клеї на контакті клей - анкер і рівні $\tau_{rz}^к = 2{,}06\tau_{cp}^к$, а в бетоні – на контакті клей-бетон $\tau_{rz}^{(b)} = 1{,}78\tau_{cp}^{(b)}$. Тому розрахунок анкерного з'єднання на міцність за середніми дотичними напруженнями призводить до істотних помилок.

Міцність клейових з'єднань на епоксидному і акриловому клеях на зрушення і на розтягання на контакті клей - бетон визначається міцністю бетону. Крім того, дія максимального дотичного напруження на даній контактній поверхні стосовно бетонного масиву має місцевий характер і значно менше максимального дотичного напруження на контакті клей - анкер. Межа міцності на зрушення для контакту клей - анкер залежить від складу клею. Дотичні напруження, що виникають на вказаному контакті, є одним з визначальних факторів міцності даного з'єднання.

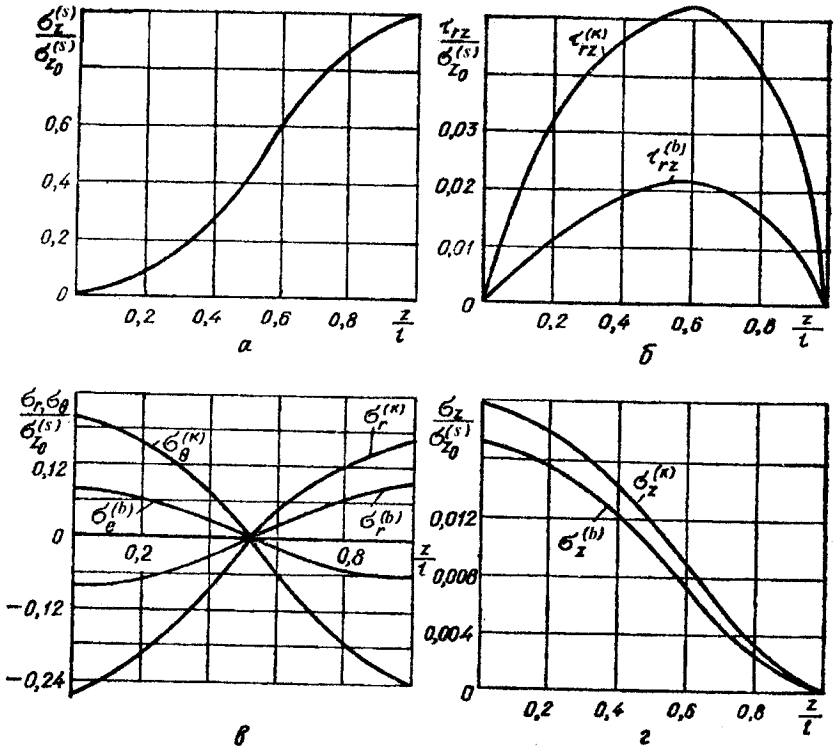


Рис. 4.2 - Розподіл напружень в анкерному з'єднанні:
а - нормально-розтягуючих; б - дотичних; в - радіально-колових;
г - нормально-розтягуючих

Радіальні напруження (рис. 4.2,в), що виникають у зв'язку з наявністю поперечних деформацій у з'єднанні, за рахунок розходження пружних властивостей анкера, клею і бетону особливо великі наприкінці зони анкерування. На цій ділянці зони анкерування радіальні напруження, що розтягують, O^{M} на контакті клей - анкер можуть перевищити граничні значення напруження відриву клею від металу. У місці концентрації радіальних розтягуючих напружень може початися руйнування клейового з'єднання на контакті клей-анкер, що зменшить глибину закладення анкера. Це призведе до збільшення $\tau_{rz}^{(к)}$ і досягнення його межі міцності на зрушення, тобто до втрати міцності з'єднання. Таке явище спостерігається при закладанні анкера на глибину $l \geq 10 d_s$.

Радіальні стискаючі напруження $\sigma_r^{(b)}$ наприкінці зони анкерування можуть перевищити граничні значення міцності клею і бетону на стиск на контакті клей-бетон. Для бетону необхідно враховувати місцевий характер впливу напружень $\sigma_r^{(b)}$. На початку зони анкерування, крім того, міцність бетону на контакті клей-бетон буде визначатися нормальними коловими стискаючими напруженнями $\sigma_\theta^{(b)}$, де вони досягають максимального значення.

Нормальні осьові напруження (рис. 4.2,г) у клейовому шарі й бетоні $\sigma_z^{(b)}$ відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон порівняно невеликі і на міцність з'єднання не справляють вирішального впливу. Вони мають максимальні значення наприкінці зони анкерування й зменшуються до нуля в міру наближення до поверхні бетону.

У результаті аналізу отриманих залежностей можна зробити наступні висновки: при розрахунку міцності анкерних з'єднань на епоксидних і акрилових клеях треба враховувати максимальні значення напружень дотичних τ_{rz}, радіальних σ_r, і колових σ_θ, що більш повно характеризують роботу даного з'єднання; для розрахунку міцності з'єднання необхідно знати межу міцності при рівномірному відриві клею від поверхні металу, а також при зрушенні для контакту клей-метал.

4.1.2. Залежність напружень від фізичних властивостей матеріалів і геометрії з'єднання

Для встановлення раціональних геометричних параметрів анкерного з'єднання встановлено вплив на його напружений стан фізичних властивостей матеріалів, глибини закладення і діаметра анкера, товщини клейового шару і бетонного циліндра. Дослідження проводили шляхом розрахункового багатофакторного експерименту на ПК. Нижче наведені основні результати дослідження, що дозволили розробити інженерний метод розрахунку клейового анкерного з'єднання.

Вплив модуля пружності клею. Розрахунки виконані при таких геометричних розмірах і фізико-механічних характеристиках матеріалів, що утворюють анкерне з'єднання: анкер із сталі ВСт3кп2 діаметром d_s = 2 см, модуль пружності E_s = 2x10^5 МПа, коефіцієнт Пуассона μ_s = 0,25; акрилові клеї з $E_к$ = 3x10^3; 4,3x10^3; 6,5x 10^3; 8x10^3; 10x10^3 МПа і $\mu_к$ = 0,3; товщина клейового шару 1 см, масив з бетону класу В15 з E_b = 2,3x10^4 МПа; μ_b = 0,16; глибина закладення анкера $l_{анк} = 10 \times d_s$=20 см.

У результаті розрахунків отримані епюри нормальних осьових напружень у забитій частині анкера σ_z^s, в бетоні σ_z^b і клеї $\sigma_z^к$, дотичних τ_{rz}, радіальних $\sigma_r^{к(b)}$ і колових $\sigma_\theta^{к(b)}$ напружень відповідно на контактах клей-

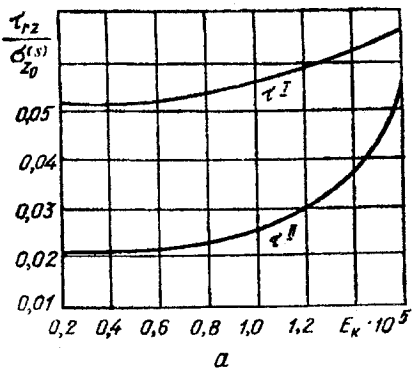
анкер і клей-бетон, а також переміщень у клеї і бетоні W відповідно на контакті клей-анкер і клей-бетон. За цими епюрами побудовані графіки залежностей максимумів, вказаних напружень і переміщень, від модуля пружності клею.

Збільшення твердості акрилових клеїв, застосовуваних для закладення анкера в бетонний масив, супроводжується підвищенням міцності клейового анкерування (рис. 4.3,а,б,е) і зниженням деформативності з'єднання (рис. 4.3,г,д). У міру збільшення модуля пружності акрилового клею зменшуються дотичні й нормальні напруження в клейовому циліндрі і на контакті клей-бетон. У той же час спостерігається збільшення нормальних осьових напружень у забитій в бетон частині анкера і радіальних на контактах клей-анкер і клей-бетон.

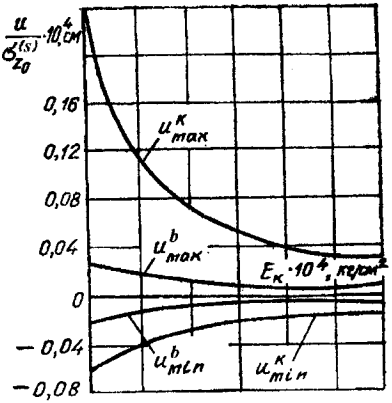
Завдяки меншому модулю пружності $E_к$ у порівнянні з модулями пружності бетону E_b і металу E_s, клей розподіляє напруження, що виникають від прикладання висмикувального зусилля між анкером і бетонним масивом. Це пояснюється тим, що при висмикуванні напруження від анкера повністю передаються на клейовий шар і далі на бетон. Головний вектор дотичних напружень свідомо не залежить від співвідношень модулів пружності матеріалів, що утворюють анкерне з'єднання. Вплив фізико-механічних властивостей бетону на напружено-деформований стан анкерного з'єднання вивчали на бетонах класів В15, В20, В25, В30 і В40 з модулем пружності E_b = 2,3x10^4; 2,65x10^4; 3,15x10^4; 3,5x10^4 і 3,8x10^4 МПа зазначених вище при характеристиках анкера і клею. Фізико-механічні властивості бетону майже не справляють впливу на зміну напружено-деформованого стану анкерного з'єднання. Це показують розрахунки і підтверджують експериментальні дослідження.

Вплив глибини закладення анкера. У результаті розрахунків з визначення впливу глибини закладення анкера на напружено-деформований стан анкерного з'єднання отримані епюри розподілу напружень і переміщень в анкері і клеї відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон. За ними побудовані графіки максимумів напружень і переміщень залежно від глибини закладання клейового анкера (рис. 4.4). Зі збільшенням глибини закладання анкера спостерігається згасаючий характер зменшення напружень в елементах з'єднання. Особливо це помітно при глибині закладення $l_{анк} \geq 10d_s$, коли напруження прагнуть до деякої межі. При подальшому її збільшенні міцність з'єднання не підвищується.

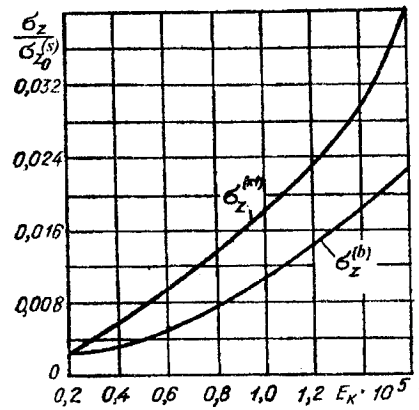
Вплив товщини клейового шару. Зміна товщини клейового шару призводить до значних змін напружено-деформованого стану анкерного з'єднання: зі зменшенням товщини клейового шару напруження в клеї на контакті клей-анкер збільшуються незначно, а на контакті клей-бетон різко зростають (рис. 4.5). Особливо це позначається на збільшенні дотичних $\tau_{rz}^{(b)}$ і радіальних $\sigma_r^{(b)}$ напружень у бетоні, які зі зменшенням товщини клейового



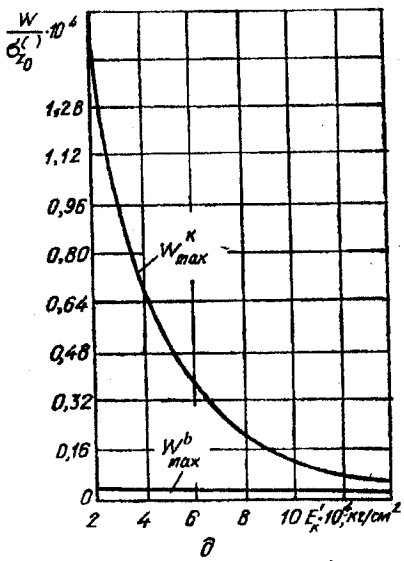
а



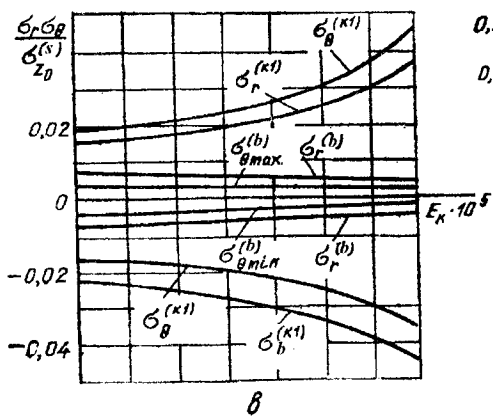
г



б



в



г

Рис. 4.3 - Залежності максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), нормально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клей-анкер (кІ) і клей-бетон (кІІ) від модуля пружності клею

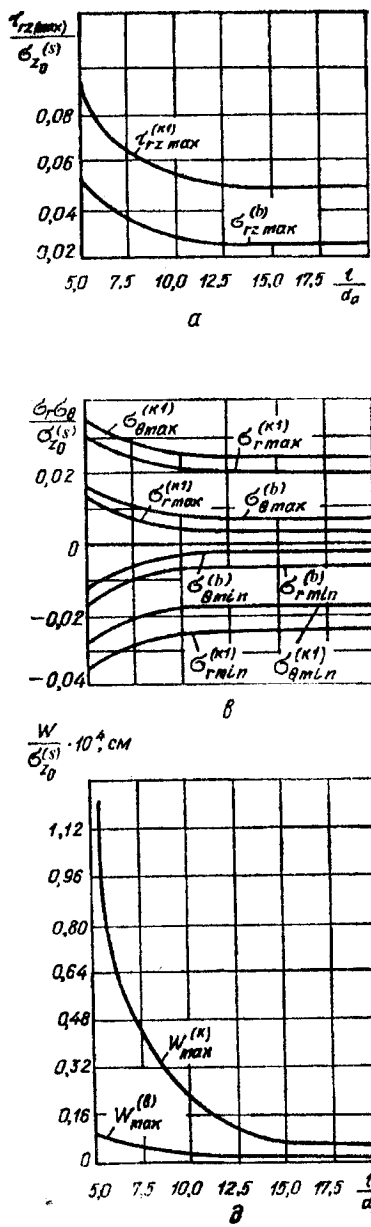


Рис. 4.4 - Залежності максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клей-анкер (кI) і клей-бетон (кII) від глибини закладання анкера

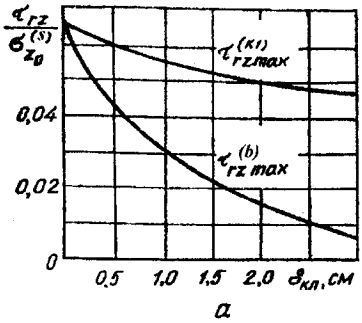
шару ($\delta_{кл} \to 0$) прагнуть до значень дотичних і радіальних напружень у клеї на контакті клей-анкер.

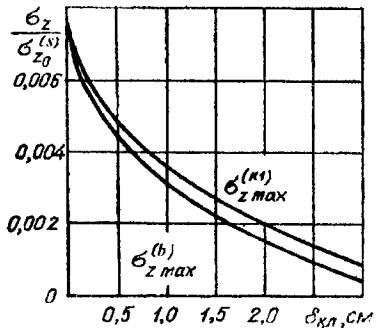
Збільшення дотичних і нормальних радіальних напружень у бетоні на контакті клей-бетон найбільш небезпечне у зв'язку з малою міцністю бетону на зріз і розтягання. Очевидно, при товщині клейового шару, близького до нульового значення, може зруйнуватися з'єднання на контакті клей-бетон по бетону.

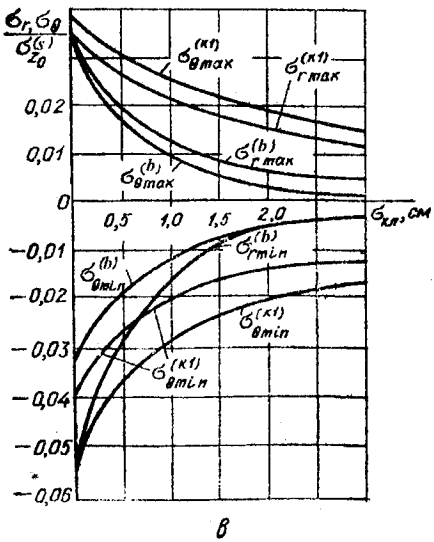
Вплив діаметра анкера. Вплив поперечних розмірів анкера на напружено-деформований стан досліджували на з'єднаннях з анкерами, діаметри яких охоплюють можливий діапазон їхнього застосування. Ці дослідження проводили в двох напрямках. Перше - при подібності геометричних розмірів анкерного з'єднання, тобто при постійних значеннях відношень l_0, l_1 і l_2. У цьому випадку поперечні розміри анкера не мають впливу на напружений стан з'єднання. Але за такої умови розміри свердловини в бетоні дуже великі (особливо для анкерів $d_s \geq 4$ см), не економічні і їх технологічно важко виконати. Тому були проведені дослідження в другому напрямку, коли порушується подібність геометричних розмірів з'єднання. У цьому випадку відношення l_0 залишається постійним, а l_1 і l_2 збільшуються зі зростанням діаметра анкера. Результати розрахунків подані графіками максимумів напружень і переміщень (рис. 4.6) залежно від діаметра анкера при постійній товщині клейового шару. Зі збільшенням діаметра анкера напруження і переміщення в елементах з'єднання зростають. Особливо помітні збільшення напружень на контакті клей-бетон. Так, зі збільшенням l_1 і l_2 при постійному l_0 спостерігається незначне зростання дотичних напружень на контакті клей-анкер $\tau_{rz}^{к}$ і значне на контакті клей-бетон $\tau_{rz}^{(b)}$ (рис. 4.6,а). Значно збільшуються напруження $\sigma_r^{к}$ і переміщення $i^{(к)}$ і $W^{(к)}$ у клеї на контакті клей-анкер і в бетоні $\sigma_r^{(b)}, u^{(b)}, W^{(b)}$ на контакті клей-бетон (рис. 4.6,в,г,д). Зростання значень дотичних і радіальних напружень зі збільшенням l_1 зменшує адгезійну міцність і несучу здатність анкерного з'єднання; зусилля $P_{вид}$, прикладене до анкера, зменшується.

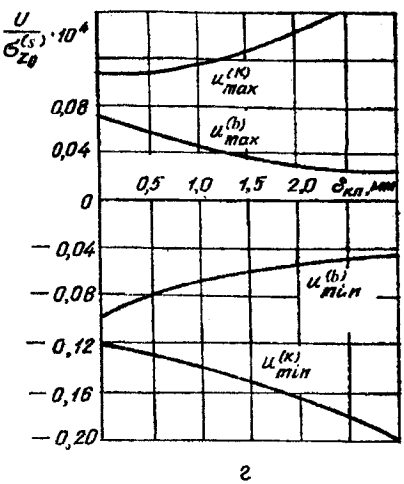
Зростання нормальних осьових $\sigma_z^{(к)}$ і колових $\sigma_\theta^{(к)}$ напружень і переміщень $u_к$ у клеї (рис. 4.6,б,в,г,д) не справляє істотного впливу на міцність з'єднання у вигляді великої міцності акрилового клею на стиск і розтягання.

Більш небезпечним є збільшення нормальних осьових $\sigma_z^{(b)}$, радіальних $\sigma_r^{(b)}$, колових $\sigma_\theta^{(b)}$ напружень і переміщень у бетоні (рис. 4.6,б,в,г, д), тому що напруження можуть перевищити межі міцності на стиск і розтягання бетону. У такому випадку необхідно збільшити товщину клейового шару або









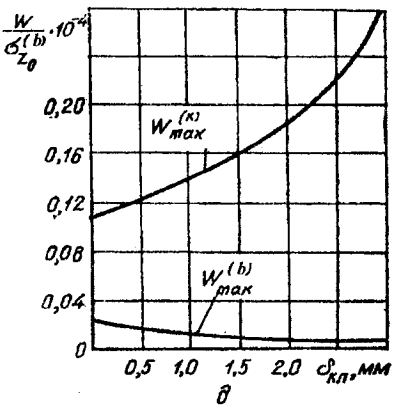


Рис. 4.5 – Залежності від товщини клейового шару максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон

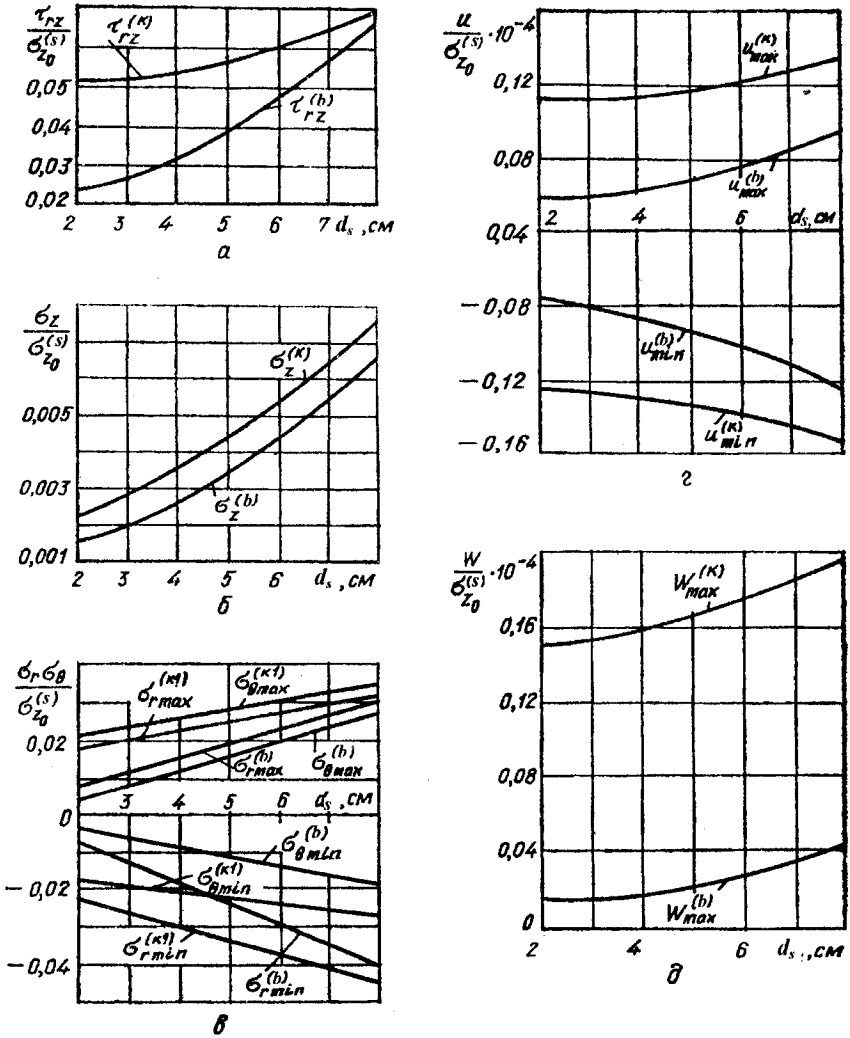


Рис. 4.6 - Залежність від діаметра анкера максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г) і осьових (д) переміщень у клеї і бетоні відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон

глибину закладення анкера, марку бетону чи передбачити конструктивні заходи щодо збільшення міцності з'єднання (наприклад, армування тіла бетону).

Вплив товщини бетонного циліндра. У випадку закладення болтів чи випусків арматури в обрізи або елементи фундаменту треба знати мінімальну відстань від них до грані бетону, для чого ми досліджували розподіл напружень у бетонній оболонці. Результати розрахунків представлені на графіках (рис. 4.7) залежностей максимумів напружень і переміщень у з'єднанні від товщини бетонної оболонки. Згідно з цими графіками зі збільшенням товщини бетонного циліндра зростають максимуми дотичних τ_{rz} і радіальних σ_r напружень, але зменшуються максимуми нормальних осьових $\sigma_z^{(b)}$ і колових $\sigma_\theta^{(b)}$ напружень у бетоні. При товщині бетону $6\,d_s$ вони стабілізуються. Аналогічно змінюються радіальні й осьові переміщення (рис. 4.7,г,д).

Найбільш небезпечними є нормальні розтягуючі осьові й колові напруження, що виникають у бетонному циліндрі при висмикуванні анкера. Тому нормальні осьові напруження визначали при $z_0 = 0$ (де $\sigma_z^{(b)}$ має максимальне значення), а колові при $z = l_{анк}$ (де $\sigma_\theta^{(bII)}$ має максимальні значення) і в точках, віддалених від поверхні контакту клей-бетон на різні відстані. Отримані результати свідчать, що при віддаленні анкера від обрізу елемента на відстань $5\,d_s$ значного зменшення напружень в анкерному з'єднанні не відбувається.

4.1.3. Розрахунок анкерного з'єднання

Отримане рішення задачі про напружено-деформований стан анкерного з'єднання на акрилових клеях дозволяє знайти напруження і деформації в будь-якій його точці.

Максимальні значення дотичних τ_{rz}, нормальних осьових σ_z, радіальних σ_r і колових σ_θ напружень у з'єднанні визначали за формулою

$$\tau(\sigma) = \sigma^s_{z_0} k_1 k_2 k_3 k_4 \,, \qquad (6.17)$$

де $\sigma^s_{z_0}$ - розрахункове напруження в анкерному стержні, МПа; k_1, k_2, k_3, k_4 - коефіцієнти, що враховують фізико-механічні характеристики акрилового клею і геометричні характеристики анкерного з'єднання (табл. 4.1 - 4.4).

Щоб визначити напруження в найбільш небезпечних точках з'єднання, треба спочатку знати $l_1 = \dfrac{l_{анк}}{r_2}$ і $l_2 = \dfrac{l_{анк}}{r_3}$ при глибині закладення анкера $l_{анк} = 10\,d_s$.

Приклад розрахунку анкерного з'єднання. Анкерний болт діаметром d_s = 5,6 см закладають у бетон класу В20 на глибину $l_{анк} = 7{,}5 d_s$ за допомогою акрилового клею з модулем пружності $E_к = 0{,}2\text{x}10^4$ МПа. Товщина клейового шару $\delta_к = 1$ см, бетонної оболонки $\delta_b = 3{,}2$ см. Розрахункове навантаження на стержень відповідно до СНиП II-23-81*

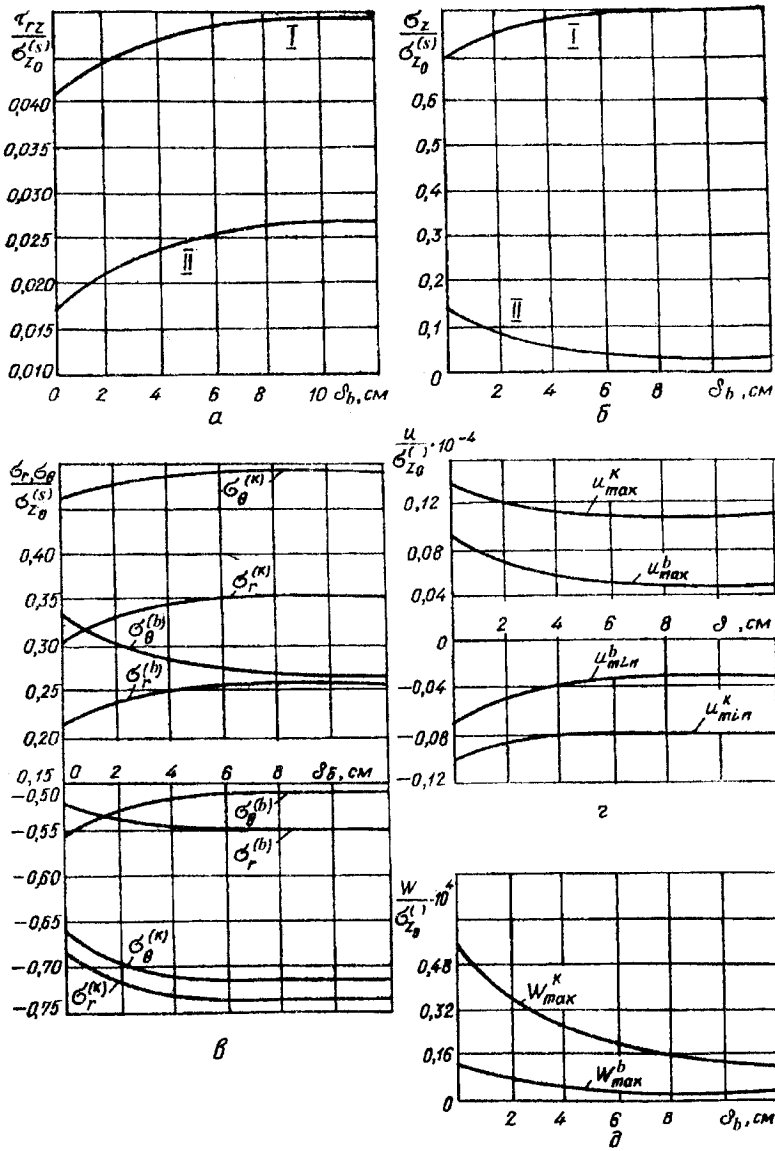


Рис. 4.7 - Залежність від товщини циліндра максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г) і осьових (д) переміщень у клеї і бетоні відповідно на контактах клей-анкер (I) і клей-бетон (II)

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта k_1, що враховує напруження в елементах анкерного з'єднання залежно від модуля пружності акрилового клею при геометричних характеристиках: $l_{анк} = 10d_s$, $l_0 = 20$, $l_1 = 10$ і $l_2 = 1{,}66$)

Вид напруження	k_1 при модулі пружності клею $E_к$, МПа						
	$0{,}2\text{x}10^4$	$0{,}4\text{x}10^4$	$0{,}6\text{x}10^4$	$0{,}8\text{x}10^4$	$1\text{x}10^4$	$1{,}2\text{x}10^4$	$1{,}4\text{x}10^4$
$\tau_{rz}^{(кl)}$	0,0506	0,0513	0,0536	0,0550	0,0570	0,0590	0,0625
$\tau_{rz}^{(b)}$	0,0219	0,0233	0,0246	0,0250	0,0279	0,0310	0,0365
$\sigma_{rz}^{(кl)}$	0,0020	0,0058	0,0100	0,0150	0,0205	0,0260	0,0325
$\sigma_{rz}^{(b)}$	0,0022	0,0040	0,0060	0,0088	0,0120	0,0150	0,0190
$\sigma_{r\ min}^{(кl)max}$	+0,0170 -0,0210	+0,0190 -0,0230	+0,0210 -0,0250	+0,0230 -0,0260	+0,0260 -0,0300	0,0289 -0,0339	0,0236 -0,0339
$\sigma_{r\ min}^{(b)max}$	+0,0066 -0,0070	+0,0059 -0,0066	+0,0053 -0,0059	+0,0049 -0,0053	+0,0046 -0,0046	0,0043 -0,0044	0,0039 -0,0043
$\sigma_{\theta\ min}^{(кl)max}$	+0,0194 -0,0166	0,0210 -0,0176	0,0240 -0,0193	0,0279 -0,0207	+0,0306 -0,0233	0,0350 -0,0266	0,0400 -0,0306
$\sigma_{\theta\ min}^{(b)max}$	+0,0046 -0,0050	+0,0039 -0,0046	+0,0033 -0,0039	+0,0029 -0,0033	0,0026 -0,0026	0,0023 -0,0024	0,0019 -0,0023

Таблиця 4.2 – Значення поправочного коефіцієнта k_2, що враховує глибину закладення анкера $l_{анк}$ при $E_к = 0{,}2\text{x}10^4$ МПа, $\delta = 1$ см і $\delta_b = 5d_s$

Вид напруження	$5\,d_s$	$7{,}5\,d_s$	$10\,d_s$	$12{,}5\,d_s$	$15\,d_s$
$\tau_{rz}^{(кl)}$	1,88	1,35	1	0,94	0,94
$\tau_{rz}^{(b)}$	1,85	1,25	1	0,96	0,96
$\sigma_{rz}^{(кl)}$	1,41	1,12	1	0,93	0,92
$\sigma_{rz}^{(b)}$	1,88	1,42	1	0,714	0,53
$\sigma_{r\ min}^{(кl)max}$	1,42 1,48	1,09 1,08	1 1	0,95 0,95	0,95 0,95
$\sigma_{r\ min}^{(b)max}$	2,38 3	1,32 1,58	1 1	1 1	1 1
$\sigma_{\theta\ min}^{(кl)max}$	1,35-0,033 1,61-0,0300	1,09-0,0266 1,14-0,0213	1-0,0243 1-0,0186	0,95-0,0233 1-0,0186	0,95-0,0233 1
$\sigma_{\theta\ min}^{(b)max}$	2,1-0,0139 4,8-0,0126	1,29-0,0035 1,92-0,005	1-0,0066 1-0,0026	1-0,0066 0,73-0,0019	1 0,73-0,0019

Таблиця 4.3 – Значення поправочного коефіцієнта k_3, що враховує товщину клейового шару (при $l_{анк} = 10\,d_s$; $l_0 = 20$ та $E_к = 0{,}2\text{x}10^4$ МПа)

Вид напру-ження	18	16	14	12	10	8	6	4	2
$\tau_{rz}^{(кl)}$	1,16	1,09	1,05	1,03	1	0,95	0,88	0,86	0,86
$\tau_{rz}^{(b)}$	3,17	2,66	2,10	1,16	1	0,70	0,26	0,22	0,21
$\sigma_{rz}^{(кl)}$	2,94	2,28	1,63	1,25	1	0,68	0,35	0,28	0,25
$\sigma_{rz}^{(b)}$	2,60	2,50	1,76	1,30	1	0,62	0,22	0,19	0,15
$\sigma_r^{(кl)\max}$	1,62	1,41	1,20	1,13	1	0,83	0,60	0,58	0,53
$\sigma_r^{(кl)\min}$	2,20	1,80	1,40	1,20	1	0,84	0,70	0,69	0,68
$\sigma_r^{(b)\max}$	3,13	2,33	1,60	1,23	1	0,56	0,26	0,23	0,21
$\sigma_r^{(b)\min}$	4,58	3,46	2.16	1,56	1	0,54	0,20	0,20	0,20
$\sigma_\theta^{(кl)\max}$	1,97	1,65	1,32	1,12	1	0,80	0,61	0,60	0,60
$\sigma_\theta^{(кl)\min}$	2,43	2,00	1,50	1,15	1	0,88	0,69	0,68	0,68
$\sigma_\theta^{(b)\max}$	3,75	2,87	1,93	1,33	1	0,55	0,14	0,14	0,14
$\sigma_\theta^{(b)\min}$	4,53	3,33	2,13	1,50	1	0,66	0,33	0,32	0,32

$\sigma_{z_0}^{(s)} = 185$ МПа (за різьбленням), в анкері $\sigma_s = 133{,}74$ МПа.

Розраховуємо геометричні характеристики з'єднання $l_{анк} = 7{,}5d_s$; $d_s = 7{,}5 \cdot 5{,}8 = 42$ см, $l_0 = \dfrac{l_{анк}}{r_1} = \dfrac{42}{2{,}8} = 15$; $l_1 = \dfrac{l_{анк}}{r_2} = \dfrac{42}{3{,}8} = 11{,}05$;

$l_2 = \dfrac{l_{анк}}{r_3} = \dfrac{42}{7{,}0} = 6$.

Максимальні значення напружень у відносних одиницях $E_к = 0{,}2\text{x}10^4$ МПа знаходимо за табл. 4.2, значення поправочних коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 і k_4 залежно від $l_{анк}$, l_1 і l_2 - за табл. 4.3 і 4.4.

Одержуємо:

$$\tau_{rz}^{(кl)} = 133{,}74 \cdot 0{,}0513 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}01 \cdot 0{,}7 = 6{,}54 \text{ МПа};$$

$$\tau_{rz}^{(b)} = 133{,}74 \cdot 0{,}0233 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}11 = 0{,}46 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{rz}^{(кl)} = 133{,}74 \cdot 0{,}0058 \cdot 1{,}12 \cdot 1{,}12 \cdot 0{,}66 = 0{,}64 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{rz}^{(b)} = 133{,}74 \cdot 0{,}0040 \cdot 1{,}42 \cdot 1{,}15 \cdot 9{,}77 = 8{,}53 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^{(кl)} \begin{matrix} \max = 133{,}74 \cdot 0{,}0190 \cdot 1{,}09 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}72 = 2{,}11 \text{ МПа}; \\ \min = -133{,}74 \cdot 0{,}0230 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}10 \cdot 0{,}88 = -3{,}21 \text{ МПа}; \end{matrix}$$

$$\sigma_r^{(b)} \begin{matrix} \max = 133{,}74 \cdot 0{,}0059 \cdot 1{,}32 \cdot 1{,}12 \cdot 0{,}58 = 0{,}67 \text{ МПа}; \\ \min = -133{,}74 \cdot 0{,}0066 \cdot 1{,}58 \cdot 1{,}28 \cdot 0{,}90 = -1{,}61 \text{ МПа}; \end{matrix}$$

$$\sigma_{\theta}^{(кl)} \begin{matrix} \max = 133{,}74 \cdot 0{,}0210 \cdot 1{,}09 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}87 = 2{,}82 \text{ МПа}; \\ \min = -133{,}74 \cdot 0{,}0176 \cdot 1{,}14 \cdot 1{,}07 \cdot 0{,}83 = -2{,}38 \text{ МПа}; \end{matrix}$$

$$\sigma_{\theta}^{(b)} \begin{matrix} \max = 133{,}74 \cdot 0{,}0039 \cdot 1{,}29 \cdot 1{,}16 \cdot 1{,}88 = 1{,}46 \text{ МПа}; \\ \min = -133{,}74 \cdot 0{,}0046 \cdot 1{,}92 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}22 = -1{,}79 \text{ МПа}. \end{matrix}$$

Таблиця 4.4 – Значення поправочного коефіцієнта k_4, що враховує товщину бетонної оболонки δ_b (при $l_{анк} = 10\,d_s$; $l_0 = 20$ і $E_к = 0{,}2 \text{x} 10^4$ МПа)

Вид напруження	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
$\tau_{rz}^{(кl)}$	0,70	0,75	0,81	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,97	1
$\tau_{rz}^{(b)}$	0,11	0,35	0,60	0,68	0,76	0,84	0,89	0,96	1,00	1
$\sigma_{rz}^{(кl)}$	0,66	0,76	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1
$\sigma_{rz}^{(b)}$	9,77	7,38	5,01	4,20	3,30	2,48	2,10	1,72	1,00	1
$\sigma_{r}^{(кl)\max}$	0,72	0,79	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1
$\sigma_{r}^{(кl)\min}$	0,88	0,91	0,93	0,94	0,98	0,96	0,98	0,99	0,99	1
$\sigma_{r}^{(b)\max}$	0,58	0,70	0,82	0,87	0,90	0,92	0,96	0,98	0,98	1
$\sigma_{r}^{(b)\min}$	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1
$\sigma_{\theta}^{(кl)\max}$	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98	0,98	1,00	1
$\sigma_{\theta}^{(кl)\min}$	0,83	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
$\sigma_{\theta}^{(b)\max}$	1,88	1,53	1,27	1,19	1,17	1,12	1,06	1,03	1,00	1
$\sigma_{\theta}^{(b)\min}$	1,22	1,13	1,07	1,05	1,04	1,03	1,01	1,01	1,00	1

Порівнявши значення отриманих напружень з розрахунковими опорами матеріалів, що утворюють з'єднання, перевіряємо його.

Міцність на зсув і відрив на контакті клей-метал (адгезійна міцність) для акрилових клеїв $\tau_{кл} = 16$ МПа і $\sigma =$ 14 МПа. Когезійна міцність акрилового клею при розтяганні $\sigma_p = 20$ МПа, стиску $\sigma_{сж} = 60$ МПа. Розрахункові характеристики бетону такі: $R_{пр} = 7$ МПа і $R_p = 0{,}6$ МПа. Отримані напруження в клеї і бетоні нижче розрахункових. Радіальні розтягуючі напруження у бетоні перевищують R_p, але це відбувається в місці входу болта у фундамент, тому цю частину фундаменту армують для сприйняття розтягуючих напружень.

Питання для самоперевірки до розділу 4

1. Які виникають напруги і деформації в елементах анкерного клейового з'єднання?
2. Від чого залежать величини напруг і деформацій в елементах клейових анкерів?
3. Який характер розподілу напруг в елементах клейового анкера?
4. Як впливають на напружений стан з'єднання фізико-механічні властивості клеїв і бетону?
5. Як впливає геометрія анкерного з'єднання на його напружений стан?
6. Для чого необхідний розрахунок анкерного з'єднання і в чому він полягає?

Розділ 5

ТЕХНОЛОГІЯ УСТАНОВКИ ФУНДАМЕНТНИХ БОЛТІВ У БЕТОНІ Й ЗАЛІЗОБЕТОНІ

Як показав досвід анкероустановочних робіт [1-10,17,29-31, 35,53,73,74,77,78,81,82,83,84,85,87,91,92,95,97,98,99,102,105,106], найбільш технологічними є способи кріплення устаткування до бетонних і залізобетонних конструкцій за допомогою глухих фундаментних болтів, що закладаються в готові конструкції фундаменту, підлоги та ін. До таких способів відноситься установка болтів у пробурені свердловини в готових чи існуючих бетонних або залізобетонних конструкціях на клеях (силоксановому, епоксидному, акриловому) чи на жорсткій цементно-піщаній суміші (віброзачеканка). Технологія установки болтів цими способами полягає з наступних основних технологічних етапів: утворення свердловин, приготування суміші, установка анкерних болтів.

5.1. Утворення свердловин у бетоні і залізобетоні

Утворення свердловин у бетоні й залізобетоні виконується механізованим інструментом, технічні характеристики якого наведені нижче. Їх здійснюють за розміткою, або через отвори під фундаментні болти у станинах попередньо вивіреного устаткування, або за допомогою кондукторної плити (рис. 5.1).

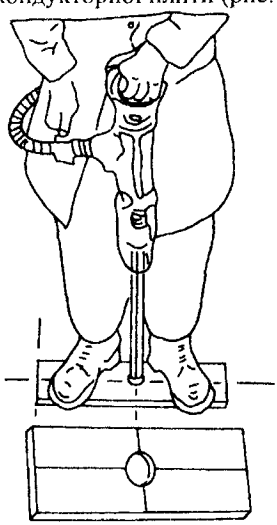


Рис. 5.1 - Свердління з кондукторною плитою

Розмітку місць установки болтів проводять: а) загальноприйнятими методами геодезичної розбивки, при цьому рекомендується осі устаткування та осі отворів намічати керном по олійній фарбі; б) за шаблоном (знятим з анкера-плану) з використанням його як кондуктора; в) шляхом попередньої установки устаткування з накернюванням місць розташування болтів через отвори у станині.

Розмітку отворів виконують у строгій відповідності з розмірами на кресленнях. Похибка розмітки отворів під болти має бути не більше 50% величини відхилень допустимих розташувань осей фундаментних болтів.

Точність розмітки осей отворів повинна бути не нижче величини, обумовленої залежністю:

$$\sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = (D - d_s)/4, \qquad (5.1)$$

де δ_x і δ_y - величини відхилень від номінальних розмірів, що координують положення осі отворів; D - діаметр отвору під болт у станині устаткування: витримування потрібних допусків при бурінні свердловин необхідне для надійної роботи анкерних болтів.

Технологія утворення свердловин повинна відповідати вимогам діючих технічних умов на провадження робіт і правил техніки безпеки.

Для буріння свердловин у бетоні й залізобетоні використовують бури, свердла з твердосплавними напайками або оснащені природними чи штучними алмазами [15,20,22,30]. Промисловість випускає електро- і пневматичні дрилі, молотки й перфоратори, робочі органи яких оснащені твердосплавними пластинами, що дозволяють якісно свердлити необхідні для анкерних болтів отвори механізованим способом. Інструмент підбирають залежно від діаметра отворів, марки бетону і насиченості арматурою. Доцільно використовувати твердосплавний інструмент з ударно-поворотною дією робочого органа. Ударно-поворотне свердління завдяки великій енергії удару і малій площі контакту робочого органа з матеріалом практично можна застосовувати для пробивання отворів у конструкціях з бетону будь-якої міцності.

Найбільш широке використання для утворення отворів у бетонних і залізобетонних конструкціях знайшли ручні пневматичні перфоратори різного типу, оснащені твердосплавним інструментом (табл. 5.1). Робочим органом ручних перфораторів є коронки. Для утворення свердловин діаметром до 60 мм застосовують серійні коронки долотчастого і хрестового типу (табл. 5.2). Вид коронок представлений на рис. 5.2. При діаметрі отвору більш 60 мм використовують спеціальні розбурюючі коронки [24]. Типи коронок вибирають таким чином, щоб діаметр утвореного отвору перевищував діаметр закріплюваного болта на 10-20 мм.

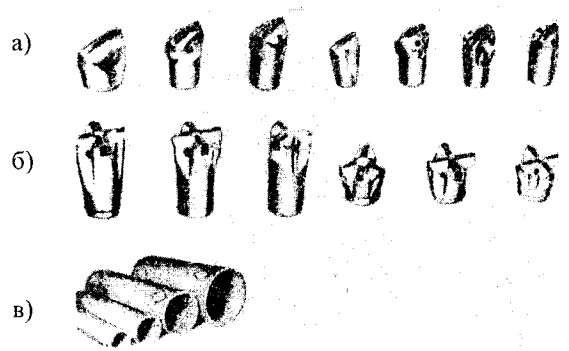


Рис. 5.2 - Бурові коронки для пневматичних перфораторів:
а - долотчасті; б - хрестові; в - алмазні

Таблиця 5.1 – Пневматичні перфоратори для буріння свердловин у бетоні

Тип перфоратора	Діаметри свердловин, мм		Спосіб очищення свердловин від бурового дрібняку				Маса з віброгасним пристроєм та глушником шуму, кг	Робота удару, кгс/см	Крутний момент, кгс/см	Число ударів за 1 хв.	Витрата повітря, $м^3$/хв	Розміри хвостовика штанги (буру) за ГОСТ 11446-65, мм
			продувка свердловин повітрям	промивання водою	повітряно-водна суміш	пилевідсос						
ПР18ЛУ (ПР-19)	+		+	+			26	4	120	2300-2600	2,8	22 х 108
ПР20Л[x)] (ПР-20)	+		+	+			26,5	4	120	2300-2600	2,8	22 х 108
ПР24ЛУ (ПР24ЛУБ)	+	+	+	+			28,5 29	5,2	200	2300-2600	3,5	25 х 108
ПР25Л[x)] (ПР25ЛБ)	+	+	+	+			32 33	5,8	180	2300-2600	3,5	25 х 108
ПР30ЛУ ПР30ЛУБ	+	+	+	+	+		29,5 31	5,8	135	1700	3	25 х 108
ПР30[x)]	+	+	+	+			34	6,5	150	1800-2000	3,5	25 х 108
ПР30Б[x)]	+	+	+	+			35,5	6,5	150	1800-2000	3,5	25 х 108
ПР30С[x)]	+	+	+				34,5	6,5	150	1800-2000	3,5	25 х 108
ПР30П[x)]	+	+					35	16,5	150	1800-2000	3,5	28 х 100
ПР30РШ[x)]	+	+	+		+		34,6	6,5	150	1800-2000	3,5	25 х 108
ПР30РК[x)]	+	+	+		+		35,5	6,5	150	1800-2000	3,5	28 х 100

ПРИМІТКА: 1 - зірочкою позначені типи перфораторів з підвищеною швидкістю буріння, поліпшеними віброгасними пристроями, постаченими глушниками шуму;

2 - робочий тиск стиснутого повітря для всіх типів перфораторів - 5 атм.

Таблиця 5.2 – Бурові коронки для пневматичних перфораторів

Типи бурових коронок / Діаметр арматурних стержнів	Долончасті										Хрестові																						
	КД-16	КД-18	КД-20	КД-22	БД-18	БД-20	БД-22	БД-25	БД-28	БД-30	ККЦ-32	ККЦ-36	ККЦ-40	ККЦ-45	ККЦ-55	ККЦ-60	ДП-39-19	КП-40-22	ДПР-40-22	КП-43	ДРП-43	КП-46	ДПР-46	КП-49	АПР-49	КП-52	ДП-52-25	КП-56	КП-60	ДП-60-25
10	x	x																												
12			x	x	x	x	x																							
16			x	x		x	x																							
20								x	x																					
24										x	x																			
30												x	x				x	x	x											
36													x	x						x	x									
42															x	x						x	x	x	x	x	x			
48-56															x	x										x	x	x	x	x

Сумарна довжина пробурюваних свердловин у бетоні класів У10-У30 до повного зносу коронки залежно від її діаметра складає:

d, мм	L, м
30	80 – 90
40	50 –70
50	35 – 40
60	25 – 30.

У комплект устаткування перфораторів входять також бурові штанги, виготовлені зі спеціальної бурової шестигранної сталі. Штанги мають поздовжні отвори діаметром 9 мм для подачі промивної води чи стиснутого повітря для очищення отворів. Переріз шестигранника відповідає буксі перфоратора. Коронки зі штангами з'єднують натягом за допомогою конуса штанги, що передає крутний момент. Тому конусну частину штанг виготовляють особливо ретельно і перевіряють шаблоном [30]. Довжину штанги підбирають залежно від глибини свердловини.

Типи і розміри штанг наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Бурові штанги для пневматичних перфораторів

Типи штанг	Довжина штанги, мм	Маса, кг
БШ25-700	700	2,8
БШ25-1300	1300	5.1
БШ25-1600	1600	6.3
БШ25-1900	1900	7,6
БШ25-2500	2500	9,9
БШ25-3100	3100	12,3
БШ25-3400	3400	13,4
БШ25-3700	3700	14,7
БШ25-4300	4300	17,09

Примітки: а) для всіх типів штанг розмір шестигранника - 25 мм, діаметр посадкового конуса - 25 мм, кут посадкового конуса – 7^0.

б) при замовленні штанг треба вказувати спосіб очищення свердловин і довжину штанги.

Наприклад: бурова штанга БШ25-1300 для буріння з продувкою чи центральним промиванням; бурова штанга БШ25-700 для буріння з подачею води через бурову муфту-насадку. Перша цифра означає діаметр вписаного кола штанги, друга - її довжину.

В останні роки для буріння свердловин у бетоні знайшли застосування електричні перфоратори, типи яких подані в табл. 5.4. Види бурильних інструментів для зазначених перфораторів наведені на рис. 5.3. Основним недоліком цього інструмента є труднощі видалення бурового дрібняка із свердловини.

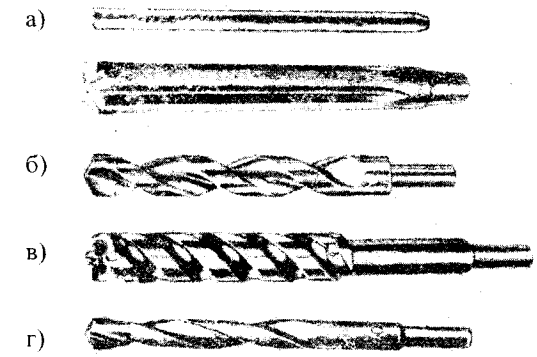


Рис. 5.3 - Бурильний інструмент для електричних перфораторів:
а - шлямбур трубчастий; б - торцевий шлямбур; в - свердло;
г - порожнисте свердло

Для свердління свердловин під конічні болти і дюбелі застосовують електро- і пневмоперфоратори чи свердлильні машини, оснащені алмазними кільцевими свердлами.

При свердлінні алмазними коронками і коронками, оснащеними твердими сплавами, необхідна подача води для охолодження в зону різання. Витрата води залежить від діаметра пробурюваної свердловини. При діаметрі свердловини від 25 мм витрата води становить 1,5 л/хв., при діаметрі більше 25 мм - до 2,5 л/хв.

Діаметр свердловини для прямих болтів на синтетичних клеях (епоксидному, силоксановому чи акриловому) має бути на 6-16 мм більше діаметра болта, а діаметр свердловин для прямих болтів, що закріплюються за допомогою цементно-піщаної суміші способом віброзачеканки, визначається розмірами ущільнювального пристрою.

Для конічних болтів, які закріплюються за допомогою розтискної цанги, діаметри свердловин і їхні допустимі відхилення розмірів приймають за табл. 5.5.

Діаметр свердловин для конічних болтів, що закріплюються цементно-піщаним розчином методом віброзанурення, визначається діаметром $D_{кор}$ для свердління свердловин і приймається відповідно до табл. 5.6.

Розміри колодязів для вигнутих болтів повинні прийматися відповідно до табл. 5.7.

Таблиця 5.4 – Електричні перфоратори для буріння свердловин у бетоні

Тип перфоратора	Діаметр свердловин		Спосіб видалення бурового дрібняка		Маса, кг	Завод – виготовлювач
	до 30 мм	30-60 мм	стиснуте повітря	промивання водою		
ИЭ-4709, ИЭ-4712	+		Примусове відалення бурового дрібняка		7,0 10,0	м.Даугавпилс «Електроінструмент»
ИЭ-4707		до 40	+		10,5	-"-
UBH 2/20 RLF	+	-	Примусове видалення бурової дрібняка		2,3	BOSCH
UBH 2/20 SE	+	-	-"-		2,3	BOSCH
UBH 2/24 SE	+	-	-"-		3,5	BOSCH
UBH 2/26 SE	+	-	-"-		4,3	BOSCH
UBH 2/26-2BS	+	+	-"-		4,5	BOSCH
GBH 5/4 DCE	+	+	-"-		5,9	BOSCH
GBH 8/65DCE	+	+	-"-		8,0	BOSCH
GBH 7/45 DE	+	+	-"-		7,5	BOSCH
UBH 12/50	+	+	Примусове видалення бурового дрібняка		12,5	BOSCH
MBH-20	+	-	-"-		2,2	HAMMERS
MBH-23	+	-	-"-		2,3	HAMMERS
MBH-24	+	-	-"-		2,3	HAMMERS
MBH-25	+	-	-"-		3,0	HAMMERS
MBH-26	+	-	-"-		3,0	HAMMERS
BH-40K	+	+	-"-		5,8	HAMMERS
BH-40TK	+	+	-"-		5,8	HAMMERS
BH-45TK	+	+	-"-		6,2	HAMMERS/ BREAKER

Відстань від грані колодязя до зовнішньої грані фундаменту має бути не менше 50 мм для болтів діаметром від 12 до 24 мм і 100 мм - для болтів діаметром від 30 до 48 мм.

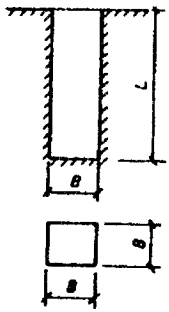
Таблиця 5.5 – Допустимі відхилення свердловин для конічних болтів, які закріплюються за допомогою розтискної цанги

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Діаметр свердловини, мм	16	22	28	32	40	50	60	68
Допустимі відхилення, мм	+1			+1,5		+2		

Таблиця 5.6 – Діаметр свердловин для конічних болтів, що закріплюються цементно-піщаним розчином

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Діаметр коронки $D_{кор}$ (діаметр свердловини). мм	30	30	40	43	52	60	70	80

Таблиця 5.7 – Розміри колодязів для вигнутих болтів

Ескіз колодязя	Діаметр болта, мм	Розміри колодязя, мм	
		У	*L*
	12	100	300
	16		400
	20	150	500
	24		600
	30	200	750
	36		900
	42	250	1050
	48		1200

Допускається виготовлення круглих колодязів шляхом їхнього висвердлювання в готових фундаментах алмазними інструментами. Діаметр колодязя повинен бути рівним розміру *В*.

Під дюбелі діаметри свердловин визначаються розмірами свердлильного (різального) інструмента, що приймається за зовнішнім діаметром конструктивних елементів болта.

Перед початком буріння перевіряють робочий стан інструмента і перфоратора, цілісність твердосплавних пластин коронок, конусної і хвостової частин штанги, чистоту продувного (промивного) отвору, правильність загострення коронки.

Після підготовки і перевірки інструмента приступають до буріння свердловин у бетоні й залізобетоні. Для забезпечення необхідної точності розташування свердловин на фундаменті в процесі буріння використовують інвентарні кондукторні пристрої, а також установочні пристрої для буріння отворів діаметром більше 60 мм [15,24]. При влученні в переріз пробурюваного отвору елементів захисної арматури їх перерізають різаками будь-якого типу. Перерізання елементів арматури глибокого залягання (більше 40 мм) виконують за допомогою електрозварювальних апаратів з наступної видувкою продуктів плавління і добурюванням отвору на задану глибину.

У даний час розроблені й серійно випускаються кільцеві пустотілі свердла з коронкою зі штучних чи природних алмазів, а також інструмент для їхнього використання. Перевагою таких свердлів є можливість свердління залізобетону, висока точність отворів за діаметром. При свердлінні алмазними свердлами потрібні мінімальні зусилля і потужність обертального механізму. Крім того, при такому свердлінні в зоні отвору і по всій його висоті не утворюються мікротріщини. Алмазне свердло легко перерізає арматуру будь-якого діаметра. Це також велика перевага алмазних свердл перед твердосплавним інструментом. При свердленні отворів у бетоні діаметром 60 мм застосування алмазних свердл більш економічне в порівнянні з цим інструментом.

5.2. Приготування сумішей і клеїв

5.2.1. Приготування епоксидного клею

До складу епоксидного клею, як вказано в розділі 2.1, входять смола епоксидна ЭД-16 чи ЭД-20, поліетиленполіамін (затверджувач), дибутилфталат (пластифікатор) і кварцовий пісок (наповнювач) [4,5,71,77, 81].

Компоненти клею повинні мати заводські паспорти і зберігатися в сухому приміщенні, спеціально призначеному для зберігання вогненебезпечних матеріалів при температурі від 0^0С до 20^0С.

Епоксидна смола, застосовувана для приготування клею, повинна мати вік не більше року. Поліетиленполіамін зберігають у герметично закритому скляному посуді не більше 6 місяців. Не допускається його зберігання на сонячному світлі і разом з кислотами. Пластифікатор (дибутілфталат) також

повинен зберігатися в герметичній упаковці. Кварцовий пісок, застосовуваний для приготування епоксидного клею, повинен бути добре висушений і мати зерна крупністю 0,50-0,35 мм.

До приготування епоксидного клею смолу ЭД-16 чи ЭД-20 завчасно пластифікують. Для цього наважку смоли (20-30 кг) розігрівають у водяній бані до температури 70^{0}С, потім вводять у неї пластифікатор ДБФ або МГФ-9 і ретельно перемішують 10-15 хв. до зникнення повітряних пухирців. Після цього пластифіковану смолу охолоджують до температури навколишнього середовища.

Приготування клею рекомендується проводити при масовій установці болтів порціями по 5-7 кг у наступній послідовності.

Необхідну кількість пластифікованої смоли, затверджувача і кварцового піску відважують в окремі ємкості. Потім у пластіковану смолу вводять затверджувач (ПЭПА) і суміш перемішують 5 хв., після чого вводять пісок і продовжують перемішування ще 5 хв.

Якість перемішування смоли із затверджувачем визначають одержанням одноколірної рідини, що видно при стіканні її з піднятого шпателя.

До приготування епоксидного клею смолу пластифікують. Для цього наважку смоли (10-15 кг) розігрівають у водяній бані до температури 60-80^{0}С, після чого вводять у розігріту смолу пластифікатор (дибутилфталат-ДБФ) з розрахунку 20 мас-частин на 100 вагових частин ЭД-20. Суміш добре перемішують протягом 10-13 хв. доти, поки зникнуть повітряні пухирці. Після цього пластифіковану смолу охолоджують до температури навколишнього середовища. При температурі навколишнього середовища вище 15^{0}С для приготування епоксидного клею в окремі ємкості відважують необхідну кількість смоли, затверджувача і кварцового піску. Потім у клеємешалці-змішувачі (типу СЛ-10, СЛ-2) пластифіковану смолу перемішують із затверджувачем протягом 5 хв. Після цього в компаунд вводять пісок і продовжують перемішування ще 5 хв.

У випадку приготування клею вручну компоненти змішують в аналогічній послідовності в посудині типу «листа» для того, щоб забезпечити відведення тепла, виділеного при екзотермічному процесі полімеризації епоксидного клею. Ступінь готовності суміші пластифікованої смоли із затверджувачем визначають за однаковим кольором рідини, що стікає з піднятого шпателя. Ступінь готовності клею, після введення наповнювача - кварцового піску, встановлюють візуально за рівномірним розподілом зерен піску в обсязі клею.

При приготуванні епоксидного клею при температурі навколишнього середовища від 16 до-20^{0}С підігріваємо пластифіковану смолу у водяній бані до температури 30-40^{0}С і піску до 40^{0}С. Після цього вводимо затверджувач і заповнювач.

У процесі приготування епоксидного клею необхідно контролювати температуру розігріву, оскільки при перевищенні 60^{0}С відбувається різке

скорочення часу технологічної життєздатності клею. Технологічна життєздатність епоксидного клею складає 60-65 хв.

Приклад розрахунку вагової дози епоксидного клею

Умови: треба встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм з глибиною закладання $10d_s$.

Необхідну кількість клею в грамах визначаємо за формулою

$$P = \pi l_{анк} / 4\left(d_c^2 - d_s^2\right)N\gamma ,$$

де $l_{анк}$ - глибина свердловини, см; d_c - діаметр свердловини, см; d_s - діаметр болта, см; N - кількість болтів, шт; γ - щільність клею (2 г/см^3):

$$P = 3{,}14 \cdot 20 / 4\left(3^2 - 2^2\right) \cdot 20 \cdot 2 = 3149 \text{ г.}$$

Визначаємо кількість складових епоксидного клею:

а) склад клею:

ЭД-16	100 вагових доз
ДБФ	20 вагових доз
ПЭПА	15 вагових доз
Пісок	200 вагових доз
РАЗОМ	335 вагових доз

б) вага однієї вагової дози:

$$q = P / 335 = 3149 / 335 = 9{,}4 \text{ г;}$$

в) вага складових:

ЭД-16+ДБФ,	$120 \cdot 9{,}4 = 1128$ г
ПЭПА,	$15 \cdot 9{,}4 = 141$ г
пісок,	$200 \cdot 9{,}4 = 1880$ г.

5.2.2. Приготування силоксанового клею

До складу силоксанового клею, як вказувалося раніше, входять: скло натрієве рідке, пісок будівельний, натрій кремнефтористий технічний, калій їдкий технічний, доменний гранульований шлак з модулем основності вище одиниці, пудра алюмінієва [59].

Клей виготовляють шляхом перемішування сухої меленої суміші, кварцового природного піску і рідкого скла в розчиномішалці (типу СБ-49) чи вручну. До складу сухої меленої суміші входять: доменний гранульований шлак, кварцовий пісок, кремнефтористий натрій, алюмінієва пудра. Помел сухої суміші готують у кульових млинах періодичної дії до питомої поверхні 5000-7000 см^2/м або до залишку на ситі 5200 отв/см^2 - 1%.

Питому поверхню суміші можна визначати на приладі ПСХ-2. Суха мелена суміш у період зберігання і при транспортуванні повинна знаходитися в закритій тарі, що охороняє її від зволоження і забруднення.

Рідке скло застосовують з модулем 1,8-2,0. Для цього в рідке скло товарного постачання з модулем 2,8-3,0 вводять їдкий калій у твердому вигляді в кількості 70 м на 1 кг рідкого скла і ретельно перемішують до повного розчинення.

Клей готують у такий спосіб. У розчиномішалку заливають рідке скло, додають 50% сухої меленої суміші і перемішують протягом 2-х хв. Потім вводять іншу кількість сухої суміші і кварцовий пісок і перемішують протягом 7 хв. Загальний час приготування силоксанового клею в розчиномішалці складає до 10 хв. Консистенцію клею контролюють за величиною розпливу клею на склі, що витікає з порожнього циліндра діаметром 5 і висотою 5 см. Діаметр розпливу повинен складати 10-12 см.

Технологічна життєздатність силоксанового клею дорівнює 1,5-2 год.

Приклад розрахунку вагової дози силоксанового клею

Умови: потрібно встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм із глибиною закладання $10d_s$.

$$P = 3{,}14 \cdot 20/4\left(3^2 - 2^2\right) \cdot 20 \cdot 2{,}1 = 3297 \text{ г.}$$

Рідке скло, 30%	990 г	
Природний кварцовий пісок, 25%	822 г	
Суха суміш (45%) містить:		
шлак, 13%		460 г
пісок кварцовий, 19%		565 г
кремнефторисний натрій, 13%		460 г
алюмінієва пудра, 0,01%		15 г

Величина замісу клею і кількість встановлюваних болтів залежно від їхнього діаметра наведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Залежність величини замісу силоксаного клею від діаметра анкерних болтів

Діаметр болтів, мм	12	20	24	30	36	42	48	56	64	76	90	100
Величина замісу клею, кг	4,2	4,4	4,2	4,7	5	6,3	5,5	4,5	4,2	4	2,7	3,3
Кількість встановлених болтів, шт.	40	27	19	14	12	10	7	5	3	2	1	1

Примітка: Таблиця складена з розрахунку технологічної життєздатності клею - 90 хв. і глибини закладання болтів $l_{анк} = 10d_s$

5.2.3. Приготування акрилового клею

Для приготування акрилового клею застосовують пластмасу АСТ-Т, що випускається у вигляді комплекту, який містить рівні кількості порошку й рідини АСТ-Т і упаковується: порошок у поліетиленових пакетах по 4,5; 5,0; 9,0; 10,0 і 18,0 кг, а рідина в поліетиленових посудинах по 4,5; 5,0; 9,0; 10,0; 45,0; 50,0 кг, закритих пробками. Компоненти АСТ-Т (порошок і рідина) зберігаються в місцях, захищених від впливу прямих сонячних променів і атмосферних опадів при температурі не вище 25^0С.

Для підвищення адгезійної міцності акрилового клею рекомендується використовувати добавки окису цинку і метакрилової кислоти. Застосування добавок дозволяє підвищити адгезійну міцність з'єднання до 30% і зменшити глибину закладання в бетон анкерних болтів.

Приготування акрилового клею рекомендується проводити в такій послідовності. Необхідну кількість порошку АСТ-Т, рідини АСТ-Т і кварцового піску відважують в окремі ємкості.

Змішування компонентів можливе вручну, або в розчиномішалках.

Вручну рекомендується виготовляти заміси в 5-8 кг.

При ручному приготуванні суміші в ємкість заливають рідину і додають порошок. Потім здійнюють періодичне перемішування металевою чи дерев'яною лопаткою до набрякання порошку в рідині, після чого вводять наповнювач - кварцовий пісок і добавки, ретельно перемішані з піском. Усю цю масу безупинно перемішують.

Момент набрякання порошку в рідині визначається одержанням одноколірної сметаноподібної рідини. Час перемішування акрилового клею після введення наповнювача складає 3-5 хв. до досягнення рівномірного розподілу зерен піску в обсязі клею.

При механічному приготуванні клею в розчиномішалці послідовність операцій аналогічна. Однак процес набрякання порошку в рідині повинен супроводжуватися короткочасним включенням розчиномішалки протягом 20-25 с. через 3-5 хв.

Орієнтований час набрякання порошку в рідині АСТ-Т становить при температурі навколишнього середовища від 15 до 25^0С близько 15 хв.

Час затвердіння акрилового клею складає при температурі середовища:

від 0 до 10^0С	до 24 год,
від 11 до 15^0С	до 12 год,
від 16 до 20^0С	до 10 год,
від 21 и вище	до 6 год.

Приклади розрахунку вагової частки акрилового клею

Умови: Потрібно встановити 20 випусків арматури діаметром 20 мм з глибиною закладання $l_{анк} = 20d_s$.

Споживану кількість клею (в г) визначаємо за формулою

$$P = \frac{\pi H}{4}\left(d_c^2 - d_s^2\right) \cdot N\gamma,$$

де H - глибина свердловини, см; d - діаметр свердловини, см; d_s - діаметр арматури, см; N - кількість арматури, шт; γ - об'ємна вага клею (2 г/см^3).

$$m = \frac{3{,}14 \cdot 40 \cdot (3^2 - 2^2) \cdot 20 \cdot 2}{4} = 6280 \text{ г.}$$

Склад клею: Порошок АСТ-Т 100 м.ч.,
Рідина АСТ-Т 100 м.ч.,
Пісок 400 м.ч.
Вагових частин 600 м.ч.

Вага однієї вагової частини

$$q = \frac{m}{600} = \frac{6280}{600} = 10{,}5 \text{ г.}$$

Вага складових

Порошок АСТ-Т 100x10,5=1050 г,
Рідина АСТ-Т 100x10,5=1050 г,
Пісок 400x10,5=4200 г.

Склад клею: Порошок АСТ-Т 100 м. ч.,
Рідина АСТ-Т 100 м. ч.,
Пісок 150 м. ч.,
Zn 6 м.ч.
Вагових частин 356 м. ч.

Вага однієї вагової частини

$$q = \frac{m}{356} = \frac{6280}{356} = 17{,}6 \text{ г.}$$

Вага складових:
Порошок АСТ-Т 100 х 17,6 = 1760 г,
Рідина АСТ-Т 100 х 17,6 = 1760 г,
Пісок 150 х 17,6 = 2640 г,
Zn 6 х 17,6 = 106 г.

5.2.4. Приготування жорсткої цементно-піщаної суміші

Для приготування жорсткої цементно-піщаної суміші слід застосовувати матеріали, подані в табл. 2.3.

Водяні розчини вуглекислого калію і сірчанокислого алюмінію готують роздільно на воді, підігрітий до температури 40-50^{0}С. Обидва водяних розчини можна з'єднувати разом тільки після повного розчинення відповідних компонентів. Готують водяні розчини не менше ніж за добу до вживання. Перед використанням їх ретельно перемішують.

Технологія приготування цементно-піщаної суміші без добавок розчинів вуглекислого калію і сірчанокислого алюмінію полягає в наступному: з окремих емкостей дозовані цемент і пісок засипають у змішувач типу ЛБ-2 і перемішують протягом 2-3 хв. Після цього додають необхідну кількість води для затвору. Час перемішування до одержання однорідної вологої суміші складає 3-5 хв. Після цього суміш готова до вживання.

Технологія приготування суміші з двокомпонентною добавкою розчинів вуглекислого калію і сірчанокислого алюмінію полягає в наступному. Зважені компоненти суміші засипають у змішувач типу ЛБ-2 і перемішують протягом 2-3 хв. Після цього в суміш додають водяний розчин вуглекислого калію і сірчанокислого алюмінію і перемішування продовжують протягом 5 хв. Змішувач зупиняють і перемішану суміш витримують в ній протягом 6-40 хв. Потім виконують повторне перемішування суміші (так зване «омолодження») протягом 3 хв. Після цього суміш готова до вживання.

Приклад розрахунку вагової дози суміші

Умова: Потрібно встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм у свердловини діаметром 40 мм на глибину 200 мм.

Необхідну кількість суміші (в г) визначають за формулою

$$P = 2{,}5\left(d_c^2 - d_s^2\right)NH,$$

де d_c - діаметр свердловини, см; d_s - діаметр болта, см; N - кількість болтів, шт; H - глибина свердловини, см; 2,5 - коефіцієнт, що враховує площу поперечного перерізу болта, щільність суміші і її втрати в роботі:

$$P = 2{,}5 \cdot \left(4^2 - 2^2\right) \cdot 20 \cdot 20 = 12000 \text{ г.}$$

Визначення вагових доз складових суміші:

при позитивній температурі:
Портландцемент .... 100 вагових доз
Пісок ..... 100 вагових доз
Вода ..... 10 вагових доз
Разом ..... 210 вагових доз.

при негативній температурі:
Портландцемент ..... 100 вагових доз
Пісок ..... 100 вагових доз
Вода ..... 10 вагових доз
Поташ ..... 10 вагових доз
Сірчанокислий
алюміній ..... 1 вагова доза
Разом ..... 221 вагових доз.

Маса однієї вагової дози:
$q = P/210 = 12000/210 = 57{,}2$ г;

$q = P/210 = 12000/221 = 54$ г.

Маса складових:
Портландцемент $100 \cdot 57{,}2 = 5720$ г
Пісок ..... $100 \cdot 57{,}2 = 5720$ г
Вода ..... $10 \cdot 57{,}2 = 572$ г
Разом ..... 12000 г.

Портландцемент ... $100 \cdot 54{,}4 = 5440$ г
Пісок ..... $100 \cdot 54{,}4 = 5440$ г
Вода ..... $10 \cdot 54{,}4 = 544$ г
Поташ ..... $10 \cdot 54{,}4 = 544$ г
Сірчанокислий
алюміній ..... $1 \cdot 54{,}4 = 54{,}4$ г
Разом ..... 12000 г.

5.3. Установка болтів

5.3.1. До бетонування фундаментів

Болти першої групи, вигнуті й з анкерними плитами, а також анкерна арматура знімних болтів, повинні встановлюватися у фундамент до бетонування на спеціальних кондукторах, що строго фіксують і забезпечують проектне положення болтів і анкерної арматури при бетонуванні.

У цих випадках рекомендується застосовувати знімні кондуктори і поєднувати болти в блоки, а також використовувати плазово-блочні методи установки болтів та інші заходи, спрямовані на зниження витрати металу і підвищення точності установки.

При розташуванні вигнутих болтів біля краю фундаменту відігнутий кінець болта необхідно орієнтувати вбік масиву, а при розташуванні в кутах – по їхній бісектрисі.

Нижні кінці болтів, розташовані в місцях порожнеч фундаментів (прорізів, тунелів та ін.), допускається виконувати вигнутими, при цьому кут

вигину болтів до вертикалі повинен складати не більше 45^0, а довжина прямої ділянки на початку закладання $l_{анк}$ приймається не менше $0{,}5l_{анк}$.

При установці складених болтів нижня шпилька разом з муфтою і анкерною плитою встановлюється до бетонування фундаменту, а верхня шпилька ввертається в муфту і прихоплюється зварюванням після установки устаткування, що монтується методом повороту чи переміщення.

5.3.2. В існуючі бетонні й залізобетонні конструкції

Після буріння свердловин виконують підготовку поверхонь бетону й анкерних болтів до установки.

5.3.2.1. Підготовка поверхні бетону свердловин і анкерних болтів

Підготовка поверхні свердловини до установки болтів полягає в інструментальній перевірці глибини й у візуальній перевірці відсутності в ній сторонніх включень, води, наледі. При необхідності проводять додаткове очищення свердловини продувкою або механічним шляхом (йоршем, металевою щіткою).

Поверхня болтів не повинна мати слідів корозії і масляних включень. Підготовка поверхні болта складається з попередньої механічної та остаточної хімічної обробки. Попередню (механічну) обробку болта виконують з метою видалення консервуючих покрить у вигляді жирового змащення, паперу і т.п. Очищення здійснюють щітками, шкребками, наждаковим папером і т.п.

Остаточну (хімічну) обробку болтів виконують в 20%-ному розчині соляної кислоти, в який додають 1% (за обсягом розчину) уротропіну (ДСТ 1381).

Травлення поверхні фундаментних болтів рекомендується робити в зоні їхньої установки протягом 2-4 год.

Безпосередньо перед установкою болти виймають з розчину соляної кислоти, а потім протирають дрантям, змоченим в ацетоні (ДСТ 2768).

5.3.2.2. Установка розклинних анкерних болтів

Конструкції і розміри розклинних анкерів наведені на рис. 5.4 і 5.5 і в таблицях 5.9... 5.11.

Розпірні болти з розтискною цангою закріплюють у свердловинах за допомогою знімних інвентарних трубок, що служать для розпору цанг (рис. 7.4). Після закріплення болта в свердловині трубку знімають. Витяжка болта при його закріпленні не повинна перевищувати $1{,}5d_s$.

При наявності виробничого агресивного середовища (масляного, кислотного та ін.), а також при закріпленні устаткування з динамічними

впливами, свердловини для конічних болтів з розтискною цангою треба залити цементним розчином після попереднього затягування болтів.

Установка інших типів розклинних болтів (рис. 5.4) здійснюється за допомогою осаджування їх у пробурені свердловини і наступного забивання металевих розтискних пробок за допомогою спеціальних оправок.

Технологічна схема установки розпірних дюбелів-втулок наведена на рис. 5.6.

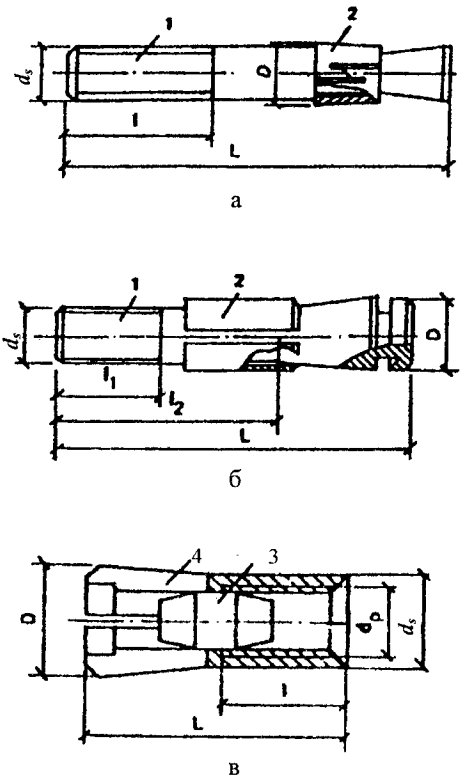


Рис. 5.4 – Розклинний анкер:
а – тип 1; б – тип 2; в – тип 3;
1 – розклинна шпилька; 2 – розтискна цанга;
3 – розтискна пробка; 4 – розклинна втулка

Таблиця 5.9 – Розклинний анкер (тип 1)

Умовне позначення	Розмір, мм				Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН
	d_s	D	l	L		
ДШР 2-М8	М8	8,5	35	70	0,025	5 (2)
ДШР 2-М10	М10	10,5	45	80	0,049	8 (3,3)
ДШР 2-М12	М12	12,6	50	90	0,08	12 (5)
ДШР 2-М16	М16	16,6	65	120	0,188	22 (9)
ДШР 2-М20	М20	21	80	150	0,356	35 (15)
ДШР 2-М24	м24	25	95	175	0,61	59 (20)

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах з бетону і цегли.

Матеріал: розклинна шпилька – сталь марки ВСт3, ДСТ 380; розтискна цанга – сталь марки 20, ДСТ 1050.

Примітка: Розрахункові навантаження наведені для елементів з бетону класу В12,5 і вище, у дужках – для елементів з цегли не нижче М75.

Таблиця 5.10 – Розклинний анкер (тип 2)

Умовне позначення	Розмір, мм					Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН
	d_s	D	l_1	l_2	L		
ДШП 2-М8	М8	10	35	50	70	0,028	5
ДШП 2-М10	М10	12	45	65	85	0,052	8
ДШП 2-М12	М12	15	50	70	100	0,089	12
ДШП 2-М16	М16	20	65	90	130	0,204	22
ДШП 2-М20	М20	24	80	110	160	0,392	35
ДШП 2-М24	м24	30	95	130	190	0,672	50

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах з бетону.

Матеріал: розклинна шпилька – сталь марки ВСт3, ДСТ 380; розтискна цанга – сталь марки 20, ДСТ 1050.

Таблиця 5.11 – Розклинний анкер (тип 2)

Умовне позначення	Розмір, мм					Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН *
	d_s	D	l_1	l_2	L		
ДВР – М6	М6	8	9,3	30	12	0,007	3
ДВР – М8	М8	10	11,5	35	16	0,014	5
ДВР – М10	М10	12	13,8	45	20	0,025	8
ДВР – М12	М12	15	16,8	55	24	0,048	12
ДВР – М16	М16	20	22	65	32	0,098	22
ДВР – М20	М20	25	27,3	80	40	0,195	35

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах з бетону.

Матеріал: розпірна втулка – сталь марки 20 ДСТ 1050; розтискна пробка – сталь марки 45 ДСТ 1050.

Покриття: розпірна втулка – хімічне оксидування, розтискна пробка – без покриття.

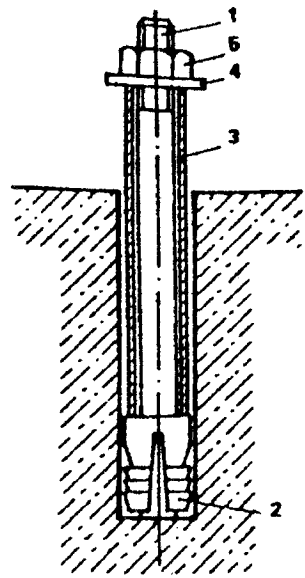


Рис. 5.5 – Установка розпірного болта з розтискною цангою за допомогою знімної інвентарної монтажної трубки: 1 – конічна шпилька; 2 – розтискна цанга; 3 – інвентарна монтажна трубка; 4 – шайба; 5 – гайка

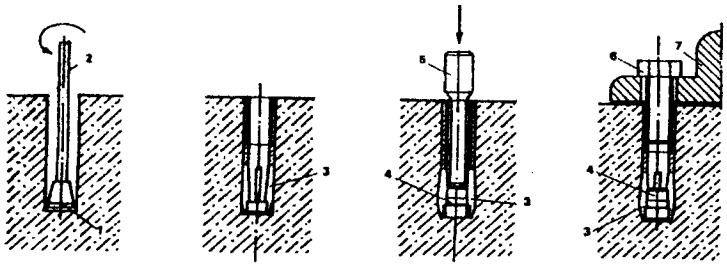


Рис. 5.6 – Технологічна схема установки розклинних анкерних болтів:
1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – розпірна втулка;
4 – розтискна пробка; 5 – оправка; 6 – кріпильний болт; 7 – устаткування

5.3.2.3. Установка конічних анкерних болтів

Установка і закріплення конічних болтів (рис. 1.13,а) цементно-піщаною сумішшю здійснюється шляхом віброзанурення болтів у свердловини, заповнені розчином на 2/3 їхньої глибини.

Віброзанурення болтів, як правило, здійснюється тими ж інструментами, якими свердлять свердловини з застосуванням, у разі потреби, перехідних пристроїв (затисків), або за допомогою інших свердлильних інструментів, що створюють поступально-обертальний рух.

Для забезпечення проектного положення болтів до схоплювання розчину у верхній частині свердловини установлюють фіксатори з дротових кілець, клинів та ін.

Технологічна схема установки болтів способом віброзанурення наведена на рис. 5.7.

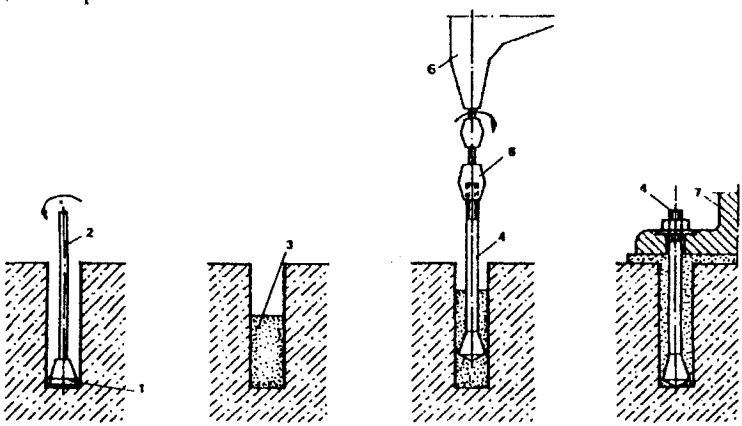


Рис. 5.7 – Технологічна схема установки болтів способом віброзанурення:
1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – цементно-піщана суміш; 4 – болт;
5 – перехідник; 6 – віброзанурювач; 7 – устаткування

5.3.2.4. Установка анкерних болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах

Анкерні болти на жорстких цементно-піщаних сумішах установлюють при температурі навколишнього середовища не нижче -20^{0}С за допомогою ущільнювального пристрою і жорстко приєднаного до нього вібратора спрямованої дії. Використовують вібратор загального призначення типу ИВ-21-А з напругою струму 36 В, який приєднують до маятникової опори від вібратора спрямованої дії типу ВЕРБ-74. Такий вібратор забезпечує необхідний питомий тиск торця ущільнювального пристрою на суміш (не нижче 8,5 МПа). Тип ущільнювача вибирають залежно від діаметра анкера [28, 30, 31].

Установка болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах (метод віброзачеканки) здійснюється за технологічною схемою, представленою на рис. 5.8. Складається вона з наступних операцій:

- установка болта в отвір;
- попереднє засипання невеликої порції суміші в зазор між тілом болта і стінкою отвору;
- надягання на болт віброущільнювача з вібратором;
- включення вібратора;
- засипання суміші в дозатор ущільнювача;
- періодичне повертання віброущільнювача на 20^0-30^0.

Досипання суміші в дозатор виконують у міру її витрати до виходу ущільнювача з отвору.

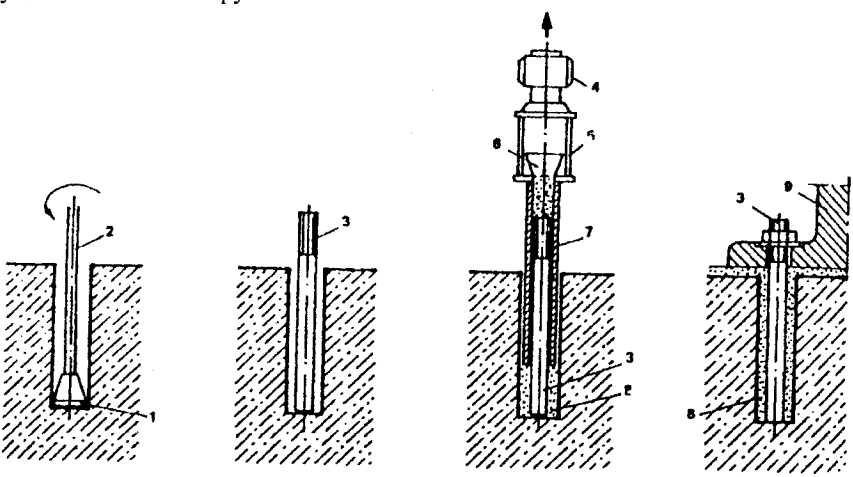


Рис. 5.8 – Технологічна схема установки болтів способом віброзачеканки:
1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – болт; 4 – вібратор;
5 – подовжувач; 6 – лійка; 7 – ущільнювач; 8 – цементно-піщана суміш;
9 – устаткування

Критерієм якісного ущільнення суміші служить мимовільний підйом віброущільнювача на поверхню. Передачу навантаження на встановлені болти, витримані при температурі навколишнього середовища 18 - 30^{0}С, потрібно виконувати через 8 діб, а у випадку витримування при температурі в межах 5 – 20^{0}С - через 10 діб.

Допускається при строгому дотриманні правил електробезпеки використання вібратора спрямованої дії ВЕРБ-74 з напругою струму 220/380 В. При закріпленні болтів діаметром 48-100 мм може бути використаний вібратор типу ВЕРБ-38А (220/380 В).

Збуджуючу частину вібратора Q вибирають таким чином, щоб забезпечити питомий тиск торця ущільнювального пристрою на суміш q не нижче 8,5 МПа за формулою

$$q = \frac{Q}{A} \geq 8{,}5 \text{ МПа},$$

де Q – збуджуюча сила вібратора; A – сумарна площа виступів на торці ущільнювального пристрою.

Установку болтів способом вібразачеканки при температурі навколишнього середовища нижче –20^{0}С робити не рекомендується.

Роботи з установки болтів виконують безпосередньо після приготування цементно-піщаної суміші і підготовки поверхонь свердловини і болта.

Схема ущільнювального пристрою зображена на рис. 5.9. У табл. 5.12 наведені розміри свердловин для болтів, закріплюваних способом віброзачеканки.

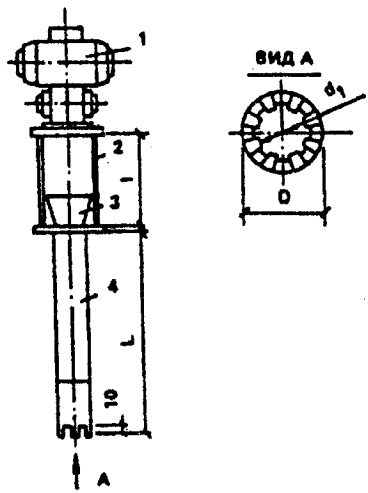


Рис. 5.9 – Ущільнювальний пристрій:
1 – вібратор; 2 – подовжувач; 3 – лійка; 4 – ущільнювач;
L – виконується за максимальною висотою болта

Таблиця 5.12 – Розміри свердловин для болтів, що закріплюються способом віброзачеканки

D, мм	d_1, мм	L, мм		Для яких болтів застосовується
		обладнання	колони	
25	13	150	-	М10, М12
30	17	180	-	М16
40	21	220	-	М20
50	31	320	620	М24, М30
66	43	450	850	М36, М42
68	50	500	980	М48
76	58	580	1140	М56
85	66	660	1300	М64
102	73	740	1460	М72 х 6
108	84	820	1620	М80 х 6
115	104	1020	2020	М90 х 6, М100 х 6

5.3.2.5. Установка анкерних болтів за допомогою силоксанових клеїв

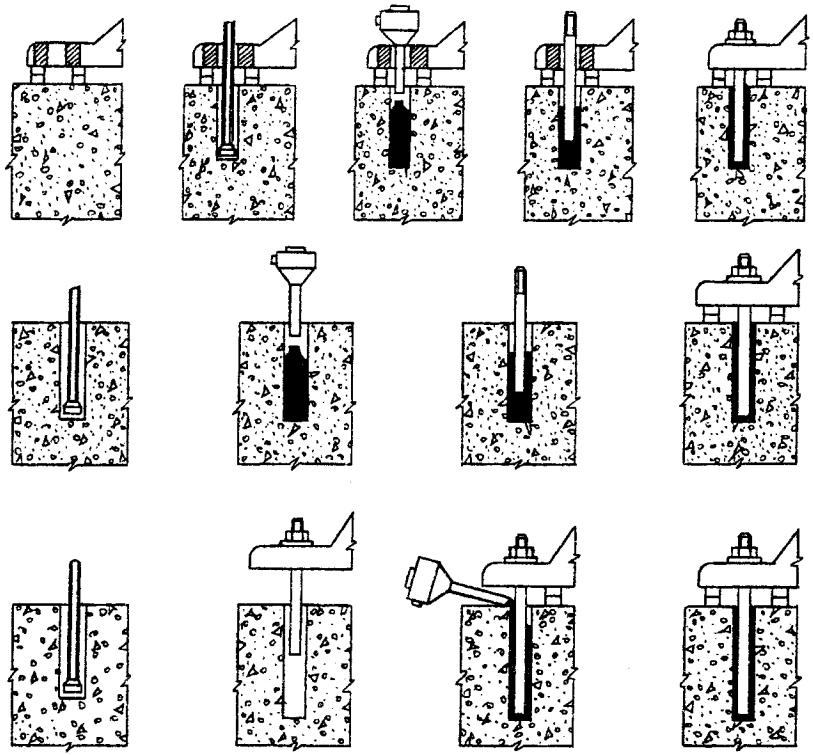
Її виконують за 1 і 2 технологічними схемами (рис. 5.10) при температурі навколишнього середовища не нижче 5°С. Включає вона такі операції:

- установку нижнього кільця, що центрує, у свердловину;
- заливання в свердловину необхідної (розрахункової) кількості клею;
- повільне занурення в клей анкерного болта з фіксацією його в нижньому кільці;
- установку верхнього кільця, що центрує, (врівень з поверхнею бетону фундаменту). Центруючі кільця виготовляють з дроту-катанки з внутрішнім діаметром на 1-2 мм більше діаметра болта і зовнішнім діаметром на 1-2 мм менше діаметра свердловини. Передача навантаження на болти при їхній установці при температурі навколишнього середовища 15^0С і вище передається через 8 діб, а при температурі 5^0С і вище - через 7 діб.

Схема I
Установка болтів після монтажу технологічного устаткування

Схема II
Установка болтів до монтажу технологічного устаткування

Схема III
Установка болтів з монтажем технологічного устаткування



Опис технологічної схеми:

1. Монтаж технологічного обладнання
2. Буріння свердловини
3. Заливання клею
4. Установка болтів у свердловини
5. Затягування болтів

1. Буріння свердловини
2. Заливання клею у свердловини
3. Установка болтів у свердловини
4. Монтаж обладнання і затягування болтів

1. Буріння свердловини
2. Монтаж обладнання
3. Заливання клею у свердловини
4. Затягування болтів

Рис. 5.10 – Технологічні схеми установки анкерних болтів на клеях

5.3.2.6. Установка анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв

Установку анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв здійснюють за 1 і 2 технологічними схемами (рис. 5.10) при температурі навколишнього середовища не нижче -20^{0}С безпосередньо після підготовки поверхні до склеювання болтів і свердловин. Складається вона з наступних операцій:

- установки нижнього кільця, що центрує, у свердловині;
- введення в свердловину на дві третини її висоти епоксидного клею (пневмошприцем чи з малогабаритного посуду);
- установки болта повільним зануренням до влучення його в нижнє кільце;
- установки верхнього кільця, що центрує (врівень з поверхнею бетону фундаменту).

Передача навантаження на болти допускається через 72 год. після їх установки.

При температурі навколишнього середовища від 15 до -20^{0}С технологія установки анкерних болтів на епоксидному клеї включає такі додаткові операції:

- заливання в свердловину клею з температурою 35-40^{0}С;
- розігрівання анкерних болтів залежно від температури навколишнього середовища від 15 до -20^{0}С (табл. 5.13). Анкерні болти розігрівають у нагрівальних печах з розподілом температури, що рекомендується, по всьому перерізі болта.

Таблиця 5.13 – Технологічний режим установки анкерних болтів при температурі навколишнього середовища нижче 5^{0}С

Температура навколишнього середовища	Технологічний режим установки болтів		
	Температура нагрівання клею, ^{0}С	Температура попереднього нагрівання стержня анкера, ^{0}С	Час витримування анкерного з'єднання до передачі навантаження, діб
5 - 0	35	100-150	1
0 - -5	40	150-200	1
-5 - -15	40	200-250	2
-15 - -20	40	300	3

Не допускається зниження температури стержня анкера перед його установкою в свердловину проти нижніх меж температур, що рекомендуються табл. 5.13. Печі повинні бути обладнані автоматичним регулятором температури, а їхня потужність повинна забезпечувати сталість заданої температури з урахуванням циклічного характеру завантаження-вивантаження печі.

5.3.2.7. Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв

Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв може виконуватися трьома технологічними схемами (рис. 5.10) при температурі середовища –20^{0}С.

Установка болтів у свердловини за технологічними схемами 1 і 2 (рис. 5.10) складається з таких операцій:

- у свердловину опускають нижнє кільце, що центрує;
- з малогабаритного посуду пласторозчин заливають у свердловину самопливом на 1/3 її висоти;
- установлюють болт, повільно занурюючи його в клей до фіксації на дні свердловини;
- установлюють верхнє кільце, що центрує, (врівень з поверхнею бетону фундаменту).

При установці фундаментних болтів за технологічною схемою 3 (рис. 5.10) виконують такі операції:

- через отвори в станині верстата встановлюють болт у свердловину;
- з малогабаритного посуду по спеціальному лотку заливають клей у свердловину між стінками і болтом.

Передачу навантаження на болти, встановлювані при температурі вище 15^{0}С, допускається здійснювати через 24 години, а при температурі в межах від 0 до 15^{0}С - через 36 годин. При температурі навколишнього середовища від 0 до -20^{0}С виконують попереднє розігрівання анкерних болтів до температури 100^{0}С.

5.4. Затягування болтів

При закріпленні устаткування гайки болтів повинні бути затягнуті на величину зусилля попереднього затягування, зазначену в технічних умовах на монтаж. При відсутності цієї величини крутного моменту при остаточному затягуванні болта вона не повинна перевищувати вказаної в табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Допустимий крутний момент при затягуванні анкерних болтів

Діаметр різьблення болтів *d*, мм	10	12	16	20	24	30	36	42	48
Допустимий максимальний крутний момент *M* при затягуванні болтів, Н·м	12	24	60	100	250	550	950	1500	2300

Для затягування фундаментних болтів слід застосовувати ручний чи механізований інструмент, а також спеціальні пристрої, зазначені в табл. 5.15 і 5.16. Вид інструментів повинен бути вказаний у проекті проведення робіт.

Розрахункові болти діаметром понад 64 мм, як правило, треба затягувати шляхом попередньої витяжки спеціальними гідравлічними ключами з контролем зусилля за манометром або подовженням.

Затягування болтів треба виконувати рівномірно. Для конструктивних болтів затягування здійснюють в два «обходи», для розрахункових – не менше ніж у три «обходи». Болти слід затягувати в шаховому порядку симетрично щодо осей устаткування.

Затягування болтів при безпідкладковому способі монтажу устаткування (попередня й остаточна) виконують в два етапи. Остаточне затягування слід робити після досягнення міцності матеріалу підливи не менш 70%.

При роботі устаткування зі значними динамічними навантаженнями гайки болтів у необхідних випадках треба захищати від самовідгвинчування шляхом стопоріння.

Стопоріння здійснюють за допомогою:

- контргайок;
- пружинних шайб (за ДСТ 6402);
- шайб стопірних з лапками (за ДСТ 13463).

Необхідність установки контргайок, пружинних шайб і шайб стопіріння залежить від типу і характеру роботи устаткування і повинна бути зазначена в проекті устаткування.

Після завершення циклу пусконалагоджувальних робіт і випробування устаткування гайки болтів треба підтягти до розрахункової величини зусилля затягування. Контроль зусилля затягування здійснюється за величиною крутного моменту чи переміщенням подовженням болта, кутом повороту гайки чи за величиною тиску в гідросистемі спеціальних гідроключів.

Величина крутного моменту прикладеного до гайки конструктивного болта, визначається відповідно до типу і характеру устаткування, але не більше величини, наведеної в табл. 5.11.

Розрахункові болти затягуються на величину крутного моменту $M_{кр}$, Н·м, що визначається за формулою (5.1).

Зусилля затягування знімних болтів, встановлюваних у фундамент з ізолюючою трубою, може контролюватися за величиною подовження шпильки δ. Ця величина визначається за формулою

$$\delta = F \cdot \left(H_s + l_{анк}\right) / EA_s, \qquad (5.1)$$

де $l_{анк}$ - глибина закладення болта, м; H_s – висота виступаючої над фундаментом частини болта до середини затягнутої гайки, м; $E = 2 \cdot 10^8$ – модуль пружності матеріалу болта, кПа.

Таблиця 5.15 – Ручний інструмент для затягування болтів

№ п/п	Найменування і марка інструмента	Діапазон діаметрів болтів, що затягуються	Завод-виготовлювач
1	Ключі зевні накидні, двосторонні, односторонні, комбіновані: за ДСТ 2839 за ДСТ 2841 за ДСТ 3108 за ДСТ 2906 за ДСТ 16983	 М16 – М56 М 16 – М56 М64 – М140 М64 – М140 М16 – М 42	Пермський завод монтажних виробів і засобів автоматизації
2	Ключі коликові монтажні (з відкритим зевом) марки КК	М10 – М24	- // -
3	Ключ-мультиплікатор марки: КМ-70 КМ-130 КМ-200 КМ-400 КМ-600 КМ-800	М27 – М36 М30 – М42 М30 – М42 М42 – М56 М48 – М64 М64 – М76 М64 – М100	- // -
4	Ключі зевні із самопідтискними губками, марки СГД-916/4	М14 – М24	Горьковський завод електромонтажних інструментів
5	Ключ тріскачковий коликовий з набором змінних голівок, марки СГД-961/7	М14 – М30	- // -
6	Ключ тріскачковий із шарнірно-закріпленою рукояткою для болтів з подовженою різьбовою частиною марок КТ-42, КТ-80, КТ-100 і КТ-140	М42 – М140	Ногинський дослідний завод монтажних пристроїв
7	Ключі спеціальні монтажні для гайок анкерних болтів типу КТ-22р, КТ-30р, КТ-36р	М22 – М36	- // -

Таблиця 5.16 – Механізований інструмент для затягування болтів

Технічна характеристика	Електрогайковерти							Пневмогайковерти		
	ИЭ3116	ИЭ3117	ИЭ113	ИЭ3114А	ИЭ3118	ИЭ3115А	ИЭ3112	ИЭ3111	ИП3112	ИП3113
Найбільший діаметр затягуваної різьби болта, мм	12	12	16	16	27	27	48	12	14	18
Найбільший момент затягування, Н·м	63	63	125	125	700	700	2100	63	100	250
Споживана потужність електродвигуна, Вт	120	120	180	180	210	210	120	-	-	
Напруга, В	220	36	220	36	36	220	230	-	-	-
Частота струменя, Гц	50	200	50	200	200	50	50	-	-	-
Робочий тиск повітря, кПа	-	-	-	-	-	-	-	500	500	500
Питома витрата повітря, $м^3$/хв.	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,9
Маса (без кабелю), кг	3,3	3,1	3,8	3,5	5,2	5,2	12	1,9	2,2	3
Виготовлювач	Конаковський завод механізованого інструменту					Ростовський завод «Електроінструмент»	Виборгзький завод «Електроінструмент»	Московський завод «Пневмомашина»		

Контроль остаточної величини зусилля затягування допускається здійснювати за кутом повороту гайки.

Для болтів, встановлюваних у фундаменти до бетонування (вигнуті й з анкерною плитою), кут повороту гайки слід визначати за формулою

$$\gamma_з^0 = \frac{360^0 F 14 d_s}{EA_s \cdot S}, \qquad (5.2)$$

а для знімних болтів – за формулою

$$\gamma_з^0 = \frac{360^0 F \cdot (l_{анк} + 2d_s)}{EA_s \cdot S}, \qquad (5.3)$$

де S – крок різьблення.

При визначенні подовження δ болта треба користуватися годинниковими індикаторами, прецизійними нівелірами та іншими приладами, що забезпечують виміри з точністю не менше ±0,02 мм щодо ненавантаженої поверхні фундаменту.

Кут повороту гайки слід визначати за допомогою мірних підкладок, шаблонів, транспортирів та інших пристроїв, що забезпечують точність вимірів не менше $\pm 5^0$.

Величину крутного моменту $M_{кр}$, можна контролювати за допомогою граничних і динамометричних ключів, вказаних у табл. 5.12 і 5.13.

При застосуванні рідкоударних гайковертів типу ИЭ3112, ИЭ3115А, ИЄ3118 крутний момент слід контролювати за часом роботи гайковерта.

5.5. Контроль якості проведення робіт

Несуча здатність анкерних болтів забезпечується: міцністю бетону фундаменту; міцністю анкерних болтів і матеріалів для їхнього кріплення; пооперaційним контролем технологічних процесів установки болтів.

Для контролю якості клею з кожної партії компонентів, що надходять на будівництво, приготовляють і випробують зразки клеїв чи інших матеріалів на стиск (ДСТ 4651). Виготовлення зразків для випробування клеїв на стиск слід проводити в сталевих формах на скляному піддоні. Наповнення форм клеєм здійснюється самопливом без ущільнення. Витримують зразки при температурі не менше 20^0С. Після витягання зразків з форми верхню грань їх шліфують.

Зразки клею на стиск випробують через троє діб з моменту виготовлення. Одночасно випробують не менше 5 зразків.

Для випробувань варто застосовувати гідравлічний прес малої потужності (до 50 кН), що дозволяє визначати міцність клею з похибкою до 1%.

Допустимим до проведення робіт вважається клей, що показав при випробуванні зразків на стиск міцність, що відповідає розділу 2.

Пооперацийному контролю підлягають: діаметр, вертикальність і глибина свердловини; технологія готування клею; очищення свердловин і обробка поверхні болта; нагрівання болтів в умовах установки при зниженій температурі середовища; рівномірність розподілу клею в свердловині навколо болта.

Для контролю якості проведення робіт на об'єкті встановлюють контрольну кількість болтів з розрахунку 3 болти діаметром 20 мм на 500 встановлених у конструкції (але не менше трьох при числі болтів від 50 до 500).

Болти випробують після закінчення часу, зазначеного в розділі 5.3, за допомогою гідравлічного домкрата, що передає осьове статичне навантаження на болт. Відстань від осі болта до упора домкрата може бути довільною.

Для випробувань можуть бути застосовані домкрати типу ДС-15-125 чи аналогічні їм за конструкцією.

Середня величина зчеплення на контакті клей-метал при глибині закладання болта $10d_s$ має бути не менше 6 МПа для всіх матеріалів, використовуваних при закладенні, крім модифікованих акрилових клеїв. В останньому випадку повинен зруйнуватися анкер при нормальних розтяжних зусиллях.

Відхилення осей забитих анкерних болтів, установлюваних на готових фундаментах, від проектного положення не повинне перевищувати ±2 мм у плані і ±10 мм за висотою. Відхилення від проектного положення осей колодязів для вигнутих болтів не повинне перевищувати ±10 мм.

Максимальна величина допустимого зсуву верхнього кінця болта при вигині не повинна перевищувати $2d_s$. При цьому деформації вигину болта допустимі тільки поза його різьбовою частиною.

Питання для самоперевірки до розділу 5

1. Які основні операції складають технологію установки анкерних болтів у бетоні?
2. Які види механізованого ручного інструмента використовуються для буріння чи свердління свердловин у бетоні?
3. Що є робочим органом бурового інструмента і його види?
4. Для чого необхідні бурові штанги і їх конструкція?
5. Які відмінності готування сумішей і клеїв залежно від виду сполучного?
6. Як визначаються вагові дози клеїв і сумішей?
7. Чим відрізняється технологія установки анкерних болтів до бетонування фундаментів і в існуюче?
8. У чому полягає підготовка поверхонь бетону свердловин і анкерних болтів при їхньому закладенні клеями чи сумішами?

9. Які існують технологічні схеми установки розклинених болтів?

10. Як залежить спосіб установки болтів у свердловини від технологічних властивостей клеїв і суміщей?

11. Який застосовується інструмент для попереднього затягування болтів?

12. У чому полягає контроль якості провадження робіт при установці анкерних болтів?

Розділ 6

ВИВІРКА УСТАТКУВАННЯ І КОНСТРУКЦІЙ

6.1. Способи обпирання устаткування на фундаменти

Залежно від конструкції стиків «фундамент – устаткування» установку устаткування на фундамент здійснюють в такий спосіб:

а) з вивіркою на тимчасових опорних елементах, підливою зазору «устаткування - фундамент» і з обпиранням при закріпленні на масив затверділого матеріалу підливи (безпідкладковий монтаж, рис. 6.1,а);

б) з вивіркою і закріпленням на постійних опорних елементах і наступною підливою бетонною сумішшю зазору «устаткування – фундамент» (рис. 6.1,б).

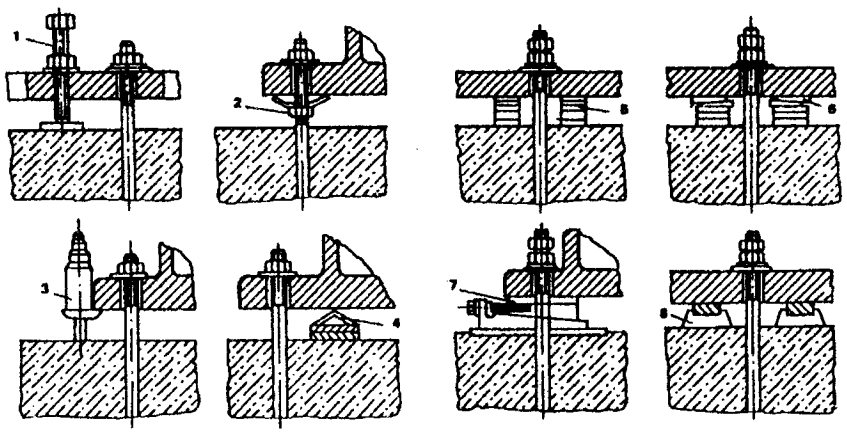


Рис. 6.1 – Опорні елементи для вивірки й установки устаткування:
а - тимчасові; б - постійні; 1 - віджимні регулювальні гвинти;
2 - установочні гайки з тарілчастими пружинами; 3 - інвентарні домкрати;
4 - полегшені металеві підкладки; 5 - пакети металевих підкладок; 6 - клини;
7 - опорні башмаки; 8 - жорсткі опори

При першому способі обпирання устаткування передача монтажних і експлуатаційних навантажень на фундамент здійснюється через постійні опорні елементи, а підлива має допоміжне, захисне чи конструктивне призначення.

При необхідності регулювання положення устаткування в процесі експлуатації підливу можна не виконувати, що повинно передбачатися інструкцією при монтажі.

При установці устаткування з використанням як постійних опорних елементів пакетів плоских металевих підкладок, опорних башмаків і т.п. співвідношення сумарної площі контакту опор A з поверхнею фундаменту і сумарної площі поперечного перерізу болтів A_s має бути не менше 15. При обпиранні устаткування на бетонну підливу експлуатаційні навантаження від устаткування передаються на фундаменти безпосередньо через підливу.

Конструкція стиків вказується в монтажних кресленнях чи в інструкції на монтаж устаткування.

При відсутності спеціальних вказівок в інструкціях заводу - виготовлювача устаткування чи в проекті фундаменту конструкція стику і тип опорних елементів можуть призначатися монтажною організацією.

6.2. Вивірка устаткування

Вивірку устаткування (установку в проектне положення щодо заданих осей і оцінок) здійснюють поетапно з досягненням заданих показників точності в плані, а потім за висотою і горизонтальністю (вертикальністю). Відхилення встановленого устаткування від номінального положення не повинне перевищувати допусків, зазначених у заводській технічній документації й в інструкціях на монтаж окремих видів устаткування.

Вивірку устаткування за висотою роблять відносно робочих реперів або щодо раніше встановленого устаткування, з яким вивірюване устаткування зв'язане кінематично чи технологічно.

Вивірку устаткування у плані (із заздалегідь установленими болтами) виконують у два етапи: спочатку суміщують отвори в опорних частинах устаткування з болтами (попередня вивірка), потім вводять устаткування в проектне положення щодо осей чи фундаментів по раніше вивіреного устаткування (остаточна вивірка).

Контроль положення устаткування при вивірці здійснюють як загальноприйнятими контрольно-вимірювальними інструментами, так і оптико-геодезичним способом, а також за допомогою спеціальних центрувальних та інших пристроїв, що забезпечують контроль перпендикулярності, паралельності й співвісності.

Вивірку устаткування проводять на тимчасових (вивірочних) або постійних (несучих) опорних елементах.

Як тимчасові (вивірочні) опорні елементи при вивірці устаткування до його підливи бетонною сумішшю використовують: віджимні регулювальні гвинти; установочні гайки з тарілчастими шайбами; інвентарні домкрати; полегшені металеві підкладки та ін. При вивірці як постійні (несучі) опорні елементи, що працюють і в період експлуатації устаткування, використовують: пакети плоских металевих підкладок; металеві клини; опорні башмаки; жорсткі опори (бетонні подушки).

Вибір тимчасових (вивірочних) опорних елементів і відповідно технології вивірки виконує монтажна організація залежно від ваги окремих монтажних блоків устаткування, установлюваних на фундамент, а також виходячи з економічних показників. Кількість опорних елементів, а також число і розташування болтів, які затягують при вивірці, вибирається з умов забезпечення надійного закріплення вивіреного устаткування на період його підливи.

Сумарну площу обпирання тимчасових (вивірочних) опорних елементів A, м^2, на фундамент визначають з виразу

$$A \geq 6nA_s + G \cdot 15 \cdot 10^{-5}, \qquad (6.1)$$

де n - число фундаментних болтів, що затягуються при вивірці устаткування; G - вага вивірюваного устаткування, кН.

Сумарна вантажопідйомність W, кН, тимчасових (вивірочних) опорних елементів визначається співвідношенням

$$W \geq 1{,}3G + nA_s\sigma_0, \qquad (6.2)$$

де σ_0 - напруження попереднього затягування фундаментних болтів, кПа.

Тимчасові опорні елементи слід розташовувати виходячи із зручності вивірки устаткування з урахуванням виключення можливої деформації корпуса і деталей устаткування від власної ваги і зусиль попереднього затягування гайок болтів.

Постійні (несучі) опорні елементи слід розміщувати на можливо близькій відстані від болтів. При цьому опорні елементи можуть розташовуватися як з одного, так і з двох сторін болта.

Закріплення устаткування у вивіреному положенні повинне здійснюватися шляхом затягування гайок болтів відповідно до рекомендацій розділу 5 цієї роботи.

Опорна поверхня устаткування у вивіреному положенні повинна щільно прилягати до опорних елементів, віджимні регулювальні гвинти - до опорних пластин, а постійні опорні елементи – до поверхні фундаменту. Щільність прилягання металевих частин, що сполучаються, перевіряють щупом товщиною 0,1 мм.

Технологія вивірки устаткування за допомогою регулювальних гвинтів, інвентарних домкратів, установочних гайок, а також на твердих бетонних подушках і металевих підкладках наведена нижче.

6.2.1. Вивірка устаткування за допомогою вивірочних гвинтів

При вивірці устаткування опорні пластини встановлюють на фундамент відповідно до розташування гвинтів в опорній частині устаткування. Місця розташування опорних пластин на фундаментах вирівнюють по горизонталі з відхиленням не більше 10 мм на 1 м. Перед установкою устаткування на фундаменті розміщують допоміжні опори, на які опускають устаткування. При опусканні устаткування на фундамент без допоміжних опор регулювальні гвинти повинні виступати нижче установочної поверхні устаткування на однакову величину, але не більше ніж на 20 мм.

Положення устаткування по висоті і горизонтальності слід регулювати по черзі всіма віджимними гвинтами, не допускаючи в процесі вивірки відхилення устаткування від горизонталі більше ніж на 10 мм на 1 м. Після завершення вивірки устаткування положення регулювальних гвинтів фіксують стопорними гайками.

Перед підливою різьбову частину регулювальних гвинтів, використовуваних багаторазово, захищають від зіткнення з бетоном за допомогою обгортання щільним папером.

Перед остаточним затягуванням фундаментних болтів регулювальні гвинти вивертають на 2-3 обороти. При повторному використанні гвинти вивертають повністю. Отвори, що залишилися (щоб уникнути попадання масла), зашпаровують різьбовими пробками чи цементним розчином, поверхню якого вкривають маслостійкою фарбою.

6.2.2. Вивірка устаткування за допомогою інвентарних домкратів

Для вивірки устаткування за допомогою інвентарних домкратів можуть бути використані гвинтові, клинові, гідравлічні та інші домкрати, що забезпечують необхідну точність вивірки, безпеку і зручність регулювання.

Домкрати, розміщені на підготовлених фундаментах, попередньо регулюють за висотою з точністю 2 мм. Потім на них опускають устаткування. При вивірці устаткування не допускаються відхилення домкрата від вертикалі.

Перед підливою інвентарні домкрати відгороджують опалубкою. Опалубку й інвентарні домкрати видаляють через 2-3 доби після підливи. Ніші, що залишилися, заповнюють сумішшю, використовуваною для підливи.

6.2.3. Вивірка устаткування на установочних гайках

Для вивірки устаткування за допомогою установочних гайок (рис. 6.1) болти повинні мати подовжене до $6d_s$ різьблення, що передбачається при виготовленні болтів за вимогою монтажної організації.

Вивірку устаткування виконують або на установочних гайках за допомогою пружних елементів, або безпосередньо на установочних гайках.

Як пружні опорні елементи рекомендуються металеві тарілчасті, гумові чи пластмасові шайби.

Послідовність вивірки устаткування за допомогою тарілчастих шайб наступна: опорні гайки з тарілчастими шайбами встановлюють так, щоб верх шайби був на 1-2 мм вище проектної оцінки установочної поверхні устаткування; устаткування встановлюють на шайби; роблять вивірку устаткування за допомогою кріпильних гайок.

Аналогічно здійснюють вивірку на установочних гайках з пружними елементами у вигляді гумових чи пластмасових шайб.

Вивірку устаткування на установочних гайках без пружних елементів виконують регулюванням положення гайок на болтах за висотою. По закінченні вивірки установочні гайки вигороджують опалубкою, яку видаляють після схоплювання бетонної суміші (через 2-3 доби після підливи). Перед остаточним затягуванням болтів установочні гайки опускають на 3-4 мм. Ніші, що залишилися, заповнюють сумішшю, використовуваною для підливи. Цей спосіб вивірки застосовується при діаметрі фундаментних болтів не більше 36 мм.

6.2.4. Вивірка устаткування на твердих бетонних подушках

Жорсткі опори виготовляють безпосередньо на фундаментах з точністю відповідною допустимим відхиленням положення устаткування за висотою і горизонталлю. На твердих опорах вивіряють устаткування з механічно обробленими опорними поверхнями. Після опускання на опори устаткування його вивіряють у плані й закріплюють.

Для виготовлення твердих опор застосовують бетон класу не нижче В15 із заповнювачем у вигляді щебеню чи гравію фракції 5-12 мм.

Питомий тиск від маси устаткування на опору не повинен бути більше 5 МПа.

Для виготовлення бетонних опор у спеціальну опалубку на попередньо очищену й зволожену поверхню фундаменту укладають порцію бетонної суміші до рівня, що на 1-2 см перевищує необхідну позначку. Потім поверхню опор вирівнюють, надлишки суміші видаляють.

Для підвищення точності бетонних опор на них укладають металеві пластини з механічно обробленою опорною поверхнею чи регулювальні клини. Відстань від пластини до краю бетонної опори має бути не менше ширини пластини. Для виготовлення бетонних опор з металевими пластинами бетонну суміш укладають в опалубку до рівня, що повинен бути нижче проектної оцінки на 1/2 - 1/3 товщини пластини. Потім на бетон, що не схопився, кладуть пластину і легкими ударами молотка занурюють її до проектної оцінки.

При застосуванні регулювальних клинів похибка їхньої установки за висотою не повинна перевищувати ±2 мм. Горизонтальність пластин чи клинів перевіряють за допомогою рівня, установлюваного на пластину послідовно в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для устаткування, що не потребує високої точності установки, допускається застосування твердих опор без металевих пластин.

У процесі вивірки допускається точне регулювання висоти опорних елементів за допомогою додавання тонких металевих підкладок.

Установку устаткування роблять після набору бетоном твердих опор міцності не менше $1 \cdot 10^4$ кПа.

6.2.5. Вивірка устаткування на пакетах металевих підкладок

Пакети металевих підкладок застосовують як постійні (несучі), так і тимчасові (вивірочні) опорні елементи. Пакети набирають зі сталевих чи чавунних підкладок товщиною 5 мм і більше. Досягнення проектного рівня установки устаткування здійснюють у процесі його попереднього закріплення за допомогою регулювальних підкладок товщиною 0,5-5 мм.

Підкладки в пакетах, використовуваних як постійні опорні елементи, повинні бути плоскими, без заусенців, опуклостей і западин. До складу пакетів, крім плоских, можуть входити клинові та інші регульовані за висотою підкладки. Кількість підкладок у пакеті має бути мінімальною і не повинна перевищувати 5 шт., включаючи тонколистові. Поверхня бетону фундаменту під пакетами підкладок повинна бути ретельно вивірена. Після остаточного затягування болтів підкладки з'єднують між собою електрозварюванням.

Розміри підкладок (залежно від маси машин) наведені в табл. 6.1. Кількість несучих пакетів підкладок визначається з умови, викладеної в параграфі 6.1, а тимчасових, використовуваних для вивірки устаткування, - в параграфі 6.2.

Таблиця 6.1 – Металеві підкладки для установки устаткування

Вага устаткування, кН	Розмір підкладок, мм	Матеріал
Більше 1000	250x120x80	чавун
	250x120x60	чавун
	250x120x40	сталь
	250x120x30	сталь
	200x100x30	сталь
	200x100x20	сталь
	200x100x10	сталь
	200x10x5	сталь
Від 300 до 1000	200x100x50	чавун або сталь
	200x100x30	сталь
	200x100x20	сталь
	150x100x10	сталь
	150x100x5	сталь
Від 100 до 300	150x00x30	чавун або сталь
	150x100x20	сталь
	120x80x10	сталь
	120x80x5	сталь
Менше 100	120x80x20	сталь
	120x80x10	сталь
	120x80x5	сталь

6.3. Підлива устаткування

Підлива устаткування повинна здійснюватися бетонною сумішшю, цементно-піщаними чи спеціальними розчинами після попередньої (для конструкцій стиків на тимчасових опорах) або після остаточного (для конструкцій стиків на постійних опорах) затягування гайок болтів.

Товщина шару підливи під устаткуванням має бути в межах 50 - 80 мм. При наявності на опорній поверхні устаткування ребер жорсткості зазор приймають від низу ребер (рис. 6.2).

Підлива в плані повинна виступати за опорну поверхню устаткування не менше ніж на 100 мм. При цьому її висота повинна бути більше висоти основного шару підливи під устаткуванням не менше як на 30 мм і не більше товщини опорного фланця устаткування. Поверхня підливи, що примикає до устаткування, повинна мати ухил убік від устаткування і захищена маслостійким покриттям.

Клас бетону чи розчину за міцністю при обпиранні устаткування безпосередньо на підливу приймають на один ступінь вище класу бетону фундаменту.

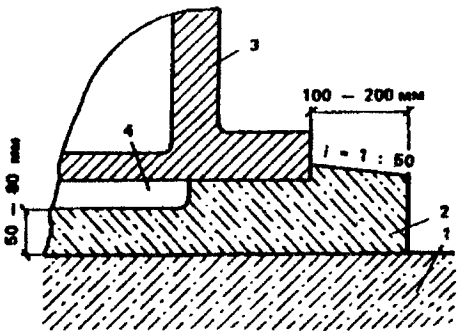


Рис. 6.2 – Схема підливи під устаткування:
1 - фундамент; 2 – підлива; 3 - опорна частина устаткування;
4 - ребро жорсткості опорної частини

Поверхню фундаментів перед підливою очищають від сторонніх предметів, масла і пилу. Безпосередньо перед підливою поверхню фундаменту зволожують, не допускаючи при цьому скупчення води в заглибленнях і приямках. Підливу під устаткуванням при температурі навколишнього повітря нижче 5^0С слід робити сумішами, що підігріваються, (електропідігрівання, пропарювання і т.п.).

Бетонну суміш чи розчин подають через отвори в опорній частині або з однієї сторони устаткування, що підливається, доти, поки з протилежної сторони суміш чи розчин не досягнуть рівня, що на 30 мм перевищує висоту рівня опорної поверхні устаткування.

Подачу суміші чи розчину слід робити безперервно. Рівень суміші з боку подачі повинен перевищувати рівень поверхні, що підливається, не менше ніж на 10 мм.

Для підливи устаткування можна використовувати пневмонагнітачі бетону типу З-862 чи бетононасоси типу СБ-68.

Подачу бетонної суміші рекомендується здійснювати вібруванням із застосуванням лотка-нагромаджувача. Вібратор при цьому не повинен торкатися опорних частин устаткування. При ширині простору, що підливається, більше 1200 мм установка лотка-нагромаджувача є обов'язковою (рис. 6.3). Довжина лотка повинна дорівнювати довжині простору, що підливається. Обпирання лотка на устаткування, що підливається, не допускається. Рівень бетонної суміші при підливі з лотком повинен знаходитися вище опорної поверхні устаткування приблизно на 300 мм і підтримуватися постійним. Для проведення робіт з підливи рекомендується використовувати вібратори з гнучким валом, наприклад ВЕРБ-34, ВЕРБ-47, ВЕРБ-56, ВЕРБ-60, ВЕРБ-65, ВЕРБ-67 та ін.

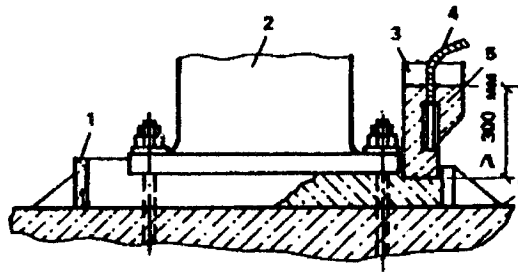


Рис. 6.3 – Підлива устаткування за допомогою лотка-нагромаджувача:
1 - опалубка; 2 - опорна частина устаткування; 3 - лоток-нагромаджувач;
4 - вібратор; 5 - підливочна суміш; 6 - фундамент

Поверхню підливи протягом трьох діб після завершення робіт необхідно систематично зволожувати, посипати тирсою або вкривати мішковиною.

При застосуванні бетонної підливи розмір великого заповнювача повинен бути не більше 20 мм.

Підбір складу бетону виконують відповідно до діючих нормативних документів. Осадка конуса бетонної суміші має бути не менше 6 см. Для поліпшення властивостей бетону підливи (зменшення усадки, збільшення рухливості) рекомендується вводити добавку СДБ у кількості 0,2 - 0,3% маси цементу. При введенні СДБ витрата цементу і води орієнтовно знижується на 8-40% при збереженні розрахункового значення водоцементного відношення. Як підлива може бути використаний бетон із дрібним заповнювачем у вигляді грубозернистого піску з модулем крупності 2,5 – 3,5 мм.

Для захисту підливи від корозії в агресивних середовищах слід застосовувати покриття відповідно до вимог СНиП 2.03.11.

6.4. Способи обпирання сталевих колон

Обпирання сталевих колон каркасів промислових будинків з розділовими вітками (ґратчастого типу) здійснюють на заздалегідь вивірені сталеві опорні плити, які встановлюються під кожну галузь на бетонну підливу (рис. 6.4).

Кількість і розташування болтів визначають залежно від розрахункових навантажень і конструкції фундаментів. Схеми розташування болтів наведені на рис. 6.5.

Обпирання сталевих колон суцільного типу каркасів промислових будинків на фундамент здійснюється через сталеву пластину, приварену до колони і встановлену на фундаментні болти з вивірочними гайками з наступним замонолічуванням опорного вузла (рис. 6.6).

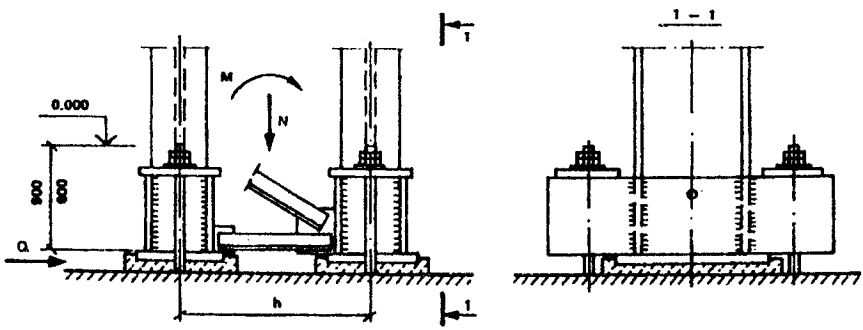


Рис. 6.4 – Сполучення сталевих колон ґратчастого типу з фундаментами

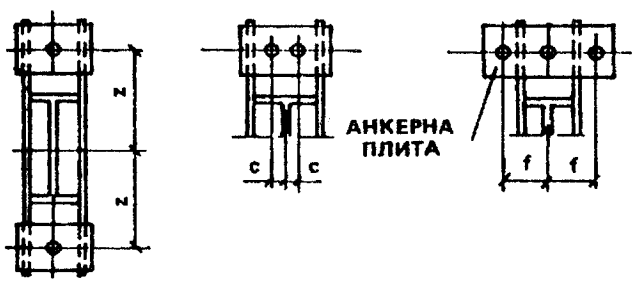


Рис. 6.5 – Схема розташування болтів для кріплення сталевих колон ґратчастого типу

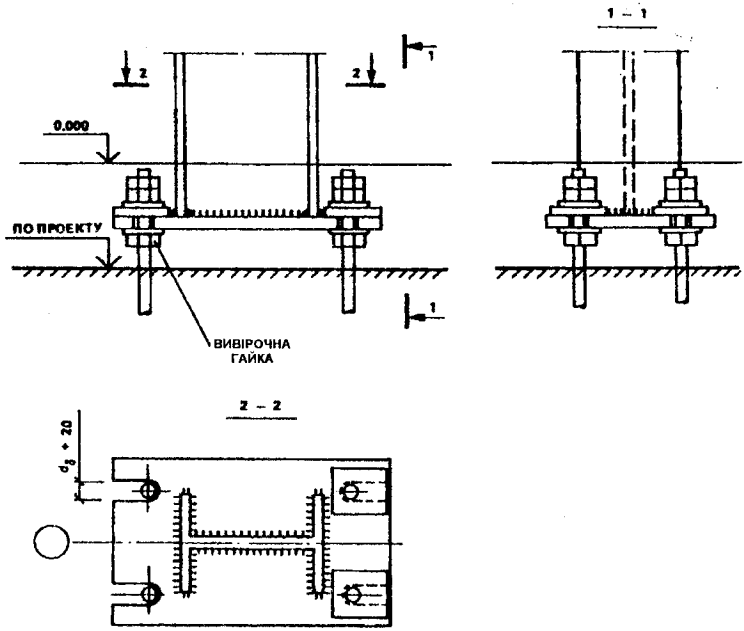


Рис. 6.6 – Схема установки сталевих колон суцільного типу каркасів промислових будинків

Питання для самоперевірки до розділу 6

1. Для чого необхідна вивірка устаткування при його монтажі?
2. Які існують опорні елементи для установки і вивірки устаткування?
3. Як визначається сумарна площа обпирання тимчасових опорних елементів і їхня вантажопідйомність?
4. Як здійснюється вивірка устаткування за допомогою опорних елементів з металу?
5. Як здійснюється вивірка устаткування на твердих бетонних подушках?
6. Навіщо необхідна підлива устаткування?
7. З якого матеріалу здійснюється підлива устаткування і коли вона виробляється?
8. Які існують способи обпирання сталевих колон на фундаменти?

ВИСНОВКИ

Конструкції анкерних болтів і способи кріплення устаткування до готових фундаментів, бетонних та залізобетонних конструкцій у нашій країні і за рубежем постійно удосконалюються. Аналіз розглянутих у навчальному посібнику конструкцій анкерних болтів і способів кріплення устаткування показує наступне. Установка анкерних болтів у пробурені шпари в готових фундаментах і бетонних чи залізобетонних конструкціях є найбільш прогресивним способом анкероустановочних робіт. Цей спосіб дозволяє значно знизити їх вартість і трудомісткість, підвищити якість, скоротити терміни будівництва.

Застосування знімних самоанкеручих болтів (ролболти, дуплексанкер, дюбелі типу ТЕП, НІІЖБ та ін.) для кріплення технологічного устаткування до готових фундаментів і конструкцій призводить до значного зниження витрат металу і бетону. Затягування знімних самоанкеруючих болтів усіх типів можливе відразу після їх установки в пробурені шпари. Вони можуть бути використані повторно. Основним недоліком знімних самоанкеруючих болтів є складність і висока трудомісткість їх виготовлення, а отже велика вартість (див. таблицю). Крім того, для установки зазначених болтів необхідно бурити шпари високої точності (відхилення, що допускається, по діаметру болта складає 0,5+2 мм). Для широкого використання самоанкеруючих болтів треба налагодити централізоване виготовлення таких кріплень і організувати постачання їх у комплекті з устаткуванням.

Найбільш прогресивними з погляду технології провадження робіт і економічності є глухі болти, встановлювані в пробурені шпари у фундаментах бетонних чи залізобетонних конструкціях і закріплювані синтетичними клеями, твердими цементно-піщаними сумішами і цементними розчинами. Собівартість їхньої установки в кілька разів нижче собівартості глухих шанцевих болтів і знімних, закладні елементи яких установлюють при зведенні фундаментів (див. таблицю).

Спосіб закріплення гладких болтів на готових бетонних і залізобетонних фундаментах і конструкціях за допомогою твердої цементно-піщаної суміші (віброзачеканка) дозволяє робити затягування болтів через троє діб. Недоліком віброзачеканки є необхідність використання спеціального механізму для ущільнення суміші, багатокомпонентність і складність її приготування, досить висока трудомісткість (див. таблицю).

Способи кріплення глухих гладких анкерних болтів на готових фундаментах за допомогою епоксидних, силоксанових і акрилових клеїв є найбільш прогресивними, економічними і менш трудомісткими.

Особливо значну перевагу дає застосування акрилових клеїв для кріплення анкерних болтів. Використання їх дозволяє значно знизити вартість і трудомісткість анкероустановчих робіт, робити установку анкерних болтів при різних погодних умовах і у вологий бетон. Кріплення болтів може

здійснюватися до, після і під час установки устаткування на фундамент. Через добу після установки болтів можна робити їхнє затягування. Акриловий клей малокомпонентний, простий і надійний у приготуванні. Завод-виготовлювач поставляє компоненти клею в комплекті, що полегшує організацію забезпечення анкероустановочних робіт. Простота і надійність, низька вартість і технологічність способу кріплення устаткування за допомогою акрилових клеїв дозволяє рекомендувати його до широкого впровадження в будівництво.

Навчальний посібник допоможе студентам будівельних спеціальностей при вивченні курсу металевих конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеенко П.П. Снижение расхода черных металлов при совершенствовании методов установки и закрепления оборудования // Монтаж оборудования и трубопроводов. - 1987. - Вып. 10. - С. 17-19.

2. Алексеенко П.П., Решетов Д.Н. Совершенствование конструкций и методов расчета резьбовых соединений машин с фундаментами // Труды ВНИИмонтажстпецстрой. Вып. 22. - М.: Стройиздат, 1987. - С. 69-74.

3. Алексеенко П.П., Гудкова О.А. Современные методы установки и закрепления оборудования на фундаменте. - М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1989. - 78 с.

4. Барч И.З. Исследование и опыт внедрения на стройках Минтяжстроя СССР способа закрепления оборудования к фундаментам при помощи гладких болтов и эпоксидного клея // ЦБТИ Минтяжстроя СССР. Реферативный сборник. Вып. 4. – М., 1972.

5. Барч И.З., Черкасский И.Г., Милославский С.Л., Зейгерместер Л.И., Болотин М.М., Кронфельд Е.М. Закрепление оборудования на эпоксидном клее // Промышленное строительство. – 1971. – № 6. – С. 17-18.

6. Барч И.З., Золотов М.С., Смолянинов Ю.М., Черкаский И.Г. Крепление анкерных болтов больших диаметров в бетоне эпоксидным клеем // Расчет конструкций подземных сооружений . Сб. научных трудов ХПСНИИП.- К.: Будівельник, 1976. - С. 46-51.

7. Березовский Ю.Н., Чернилевский Д.В., Петров Н.М. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

8. Вишневский П.Ф. Современные методы анкерного крепления в строительстве. – М.: Издательство МО СССР, 1989. – 246 с.

9. Гайдамак К.М., Тыркин Б.А. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтеперабатывающей промышленности. - М.: Стройиздат, 1994. - 286 с.

10. Гарбуз А.О. Повышение адгезионной прочности акриловых клеев для строительных конструкций // Сб. научн. трудов «Повышение эффективности и надежности систем городского хозяйства». - К.: ИСИО, 1994. - С. 91-93.

11. Гарбуз А.О. Применение модифицированных акриловых клеев в городском хозяйстве // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 5. - К.: Техніка, 1996. - С. 91-93.

12. Гарбуз А.О., Золотов С.М. Акриловые клеи повышенной адгезионной прочности и термостойкости // Тез. докл. междунар. научн.-практ. конф. «Проблема и перспективы ресурсосбережения в жилищно-коммун. хозяйстве». - Харьков: ХГАГХ, 1996.-С. 17.

13. ГОСТ 24379.0-80*. Болты фундаментные. Общие технические указания.

14. ГОСТ 24379.1-80*. Болты фундаментные. Конструкция и размеры.

15. Золотов М.С. Напряжение в анкерных соединениях на эпоксидных клеях // Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения. Вып. XII. - К.: Будівельник, 1970.

16. Золотов М.С. Экспериментальные исследования анкерных соединений на эпоксидном клее // Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения. Вып. XVI. - К.: Будівельник, 1971. - С. 68-71.

17. Золотов М.С., Зайцев И.М., Стысин Б.Е. Крепление металлургического оборудования болтами на акриловых клеях // На стройках России. – 1987. - № 2. – С. 13-15.

18.Золотов С.М. Акриловые клеи для крепления анкерами башенных сооружений // Будівельні конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Макіївка: ДонДАБА, 2001. – Вип. 5. – С. 179-182.

19.Золотов С.М. Стойкость акриловых клеев к агрессивным воздействиям // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 7. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – С. 41-49.

20.Золотов С.М. Энерго- и ресурсосберегающий акриловый клей для соединения бетонных и железобетонных элементов // Сб. науч. трудов международной науч.-практ. конф. «Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве». Часть 2. – Белгород: БелгТАМС, 2002. – С. 55-60.

21.Золотов С.М. Зависимость времени отверждения акриловых клеев от различных факторов // Вестник БГГУ науч.-техн. журнал № 5, 2003. Материалы международного конгресса «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». Ч. 1. – С. 48-52.

22.Золотов С.М. Зависимость когезионной прочности акриловых клеев от различных факторов // Будівельні конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Макіївка: ДонДАБА, 2003-2, т. 2. – С. 222-226.

23. Zolotov S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements // Science, Education and Society: 11 International Scientific Conference University of Zilina. Slovak Republic, part I, 2003. - P. 323-325.

24. Золотов С.М. Влияние модификаторов на адгезионные свойства акриловых клеев // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 9. - Рівне: УДУВГПК, 2003. - С. 54-60.

25. Золотов С.М. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип. 59. – К.: НДІБК, 2003. – С. 440-447.

26.Золотов С.М., Пустовойтова О.М., Псурцева Н.А. Исследование структурных изменений акриловой композиции при воздействии различных факторов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип. 51. – К.: Техніка, 2003. – С. 68-73.

27.Инструкция по проектированию фундаментов под оборудование прокатных и трубных цехов. - М.: Гипромез, 1963. - 78 с.

28. Инструкция по креплению технологического оборудования фундаментными болтами. СН 471-75. - М.: Стройиздат, 1976.

29. Каминская В.В., Решетов Д.Н. Фундаменты и установка металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1988. - 114 с.

30. Каминский М.Л., Кошемякин В.А. Бесподкладочный монтаж электрических машин. - М.: Энергоиздат, 1992. - 179 с.

31. Киянов И.Д. Монтаж технологического оборудования. - К.: Будівельник, 1980. - 160 с.

32. Клименко В.З., Золотов С.М. Применение анкерных креплений на акриловых клеях при реконструкции производственных зданий // Тез. докл. IV Украинской республиканской научн.-техн. конференции «Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений». Сб. 5. - Симферополь, 1988. - С. 19-20.

33. Клименко В.З., Паги Б.Ю., Золотов М.С. Напряженно-деформированное состояние анкерных соединений на основе акриловых пластырастворов // Сопротивление материалов и теория сооружений, 1988. - Вып. 43. - С. 77-82.

34. Клименко В.З., Паги Б.Ю., Золотов М.С. Влияние толщины клеевого слоя на напряженно-деформированное состояние сталеклеевого соединения // Сопротивление материалов и теория сооружений. - 1985. - Вып. 47. - С. 57-62.

35. Коваль В.К., Алексеенко П.П. Соединение оборудования с фундаментом анкерными болтами. Обзорная информация. - М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1990. - 92 с.

36.Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1985. – 431 с.

37.Мандриков А.П. Ляпин И.М. Примеры расчета металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1982 – 312 с.

38. Мартынов Е,Л., Рабин И.И., Барч И.З., Черкасский И.Г. Закрепление оборудования с помощью коротких болтов // Промышленное строительст-во. - 1978. - № 4. - С. 18-20.

39. Маршев В.З., Эльят М.Л., Дегмат М.П. и др. Монтаж технологического оборудования. - М.: Стройиздат, 1983. - 584 с.

40. Матвеев В.В., Кузьмич А.А. Установка, выверка и крепление технологического оборудования и конструкций на фундаментах. - Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. - 124 с.

41.Металлические конструкции. Т. 1. Элементы конструкций / Под ред. Горева В.В. – М.: Высшая школа, 2001. – 492 с.

42.Металлические конструкции. Т. 2. Конструкции зданий / Под ред. Горева В.В. – М.: Высшая школа, 2001. – 528 с.

43. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Кратковременная прочность анкерных болтов на модифицированых акриловых клеях // Коммунальное хозяйство городов: Науч.- техн. сб. Вып. 25. - К.: Техніка, 2000. - С. 109-111.

44. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Длительная прочность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях // Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 5. - Рівне, 2000. - С. 75-81.

45. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Влияние глубины заделки на прочность клеевого анкера // Моделирование и оптимизация в материаловедении. Тез. докладов международного семинара МОК'40. - Одесса, 2001. - С. 90-91.

46. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Деформативность анкерных болтов на модицированных акриловых клеях // Коммунальное хозяйство городов: Науч.- техн. сб. Вып. 27. - К.: Техніка, 2001. - С. 175-186.

47. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Определение коэффициента основной нагрузки для анкерных болтов на акриловых клеях // Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 6. - Рівне, 2001. - С. 264-269.

48. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Стабильность усилия предварительной затяжки анкерных болтов на акриловых клеях // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. вып. 39. - К.: Техніка, 2002. - С. 74-87.

49. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Расчетные характеристики анкерных болтов на акриловых клеях // Тез. докладов XXXI науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. Ч. 1. - Харьков: ХГАГХ, 2002. - С. 11-13.

50. Молодченко Г.А., Скляров В.А. Прочность и усилия предварительной затяжки анкерных болтов на акриловых клеях при динамических нагружениях // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип. 43. - К.: Техніка, 2002. - С. 9 - 16.

51. Монтаж технологического оборудования и трубопроводов и средства для его осуществления / Сб. науч. тр. под. ред. Зильберга А.Л. - М.: ВНИИмотажспецстрой, 1982. - 185 с.

52. Никифоров А.С. Монтаж и наладка механического оборудования прокатных станов. - М.: Металлургия, 1990. - 288 с.

53. Нормали металлургического машиностроения. Анкерные крепления прокатного оборудования к фундаментам. - М.: НИИоснований, 1996. - 46 с.

54. Нохрина Л.А. Технологические схемы установки фундаментных болтов на акриловых клеях // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 12. - К.: Техніка, 1998. - С. 70-73.

55. Подлегаев И.М., Барч И.З. Виброзачеканка гладких анкерных болтов жесткой цементно-песчаной смесью // Промышленное строительство. - 1989. - № 4. - С. 16-20.

56. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования. – М.: ЦНИИпромзданий, 1993. - 104 с.

57. Рекомендации по закреплению гладких анкерных болтов способом виброзачеканки // Харьковский ПромстройНИИпроект Госстроя СССР. - Харьков, 1980. - 34 с.

58. Рекомендации для закрепления гладких фундаментных болтов с помощью силоксанового клея. - Харьков, ХПСНИИП, 1976. - 32 с.

59. Рекомендации по применению самоанкеруючих конических болтов для крепления элементов к бетонным и железобетонным конструкциям. - М.:НИИЖБ, 1977. - 42 с.

60. Россель Э.Э., Смирнов Ю.П., Березин Н.Н., Мецгер Э.Х., Балашкина А.Н. Рекомендации по установке коротких анкерных болтов на цементных растворах для закрепления строительных конструкций и технологического оборудования на готовых фундаментах. - Свердловск, 1975. – 38 с.

61.Скляров В.А. Распределение усилий в клеевом анкере при креплении оборудования к фундаментам // Коммунальное хозяйство городов: Науч.- техн. сб. Вып. 16. - К.: Техніка, 1998. - С. 24-28.

62. Скляров В.А. Исследование на выносливость анкерных болтов // Тез. докладов XXX науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. Ч. 2. - Харьков, 2000. - С. 57-58.

63. Скляров В.А. Жесткость анкерных болтов на акриловых клеях // Науковий вісник будівництва. Вип. 10. - Харків: ХДТУБА, 2000. - С. 67-72.

64. Скляров В.А. Стабильность усилия предварительной затяжки модифицированным акриловым клеем // Науковий вісник будівництва. Вип. 12. - 2001. - С. 101-103.

65. Скляров В.А., Молодченко Г.А. Применение анкерных болтов на акриловых клеях при реконструкции промышленных предприятий // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 54. - К.: НДІБК, 2001. - С. 610-614.

66. Скляров В.А. Прочность анкерных болтов на акриловых клеях при динамических нагружениях // Материалы к 41-му международному семинару «Моделирование и оптимизация композитов - МОК'41». - Одесса: ОГАСА, 2002. - С. 183.

67. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. – М.: Госстрой СССР, 1985. - 87 с.

68. СНиП II.23.81*. Стальные конструкции. – М.: Госстрой СССР, 1990. - 79 с.

69. Технические указания на установку и крепление гладких фундаментных болтов при помощи эпоксидного клея // РСН 218-74. - К., 1974. - 48 с.

70. Установка анкерных болтов на цементных растворах (из опыта треста «Тагилстрой»). Обзорная информация ЦБТИ Минтяжстроя СССР, 1975. - 86 с.

71. Черкасский И.Г., Серкова Э.В., Подлегаев И.М. Прогрессивные способы закрепления анкерных болтов // На стройках России. - 1979. -№ 4. - С.32-39.

72. Черкасский И.Г., Серкова Э.В.,Ляхович И.А. Закрепление фундаментных болтов силоксановым клеем // Пром. строительство. - 1987. - № 10. - С. 20-22.

73. Черкасский И.Г. Обеспечение прочности клеевых анкеров // Бетон и железобетон. - 1988, № 6. - С. 20-21.

74. Черкасский И.Г. Расчет фундаментных болтов на эпоксидных клеях // Строительное проектирование промышленных предприятий: Реферативная информация. Вып. 2. - М., 1987. - С. 2-5.

75. Черкасский И.Г. Технологические параметры установки фундаментных болтов на эпоксидном клее // Промышленное строительство. - 1991. -№ 3. - С. 21-23.

76. Шарстук В.Н. Крепление оборудования к бетонным и железобетонным конструкциям // ЦИНИС Госстроя СССР. - М., 1988. - С. 67.

77. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Перевод с английского. - М.: Мир, 1972. - 383 с.

78. Шилдз Дж. Клеящие материалы в промышленности. - М.: Машиностроение, 1990. - 368 с.

79. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Смолянинов Ю.М., Спиранде Р.А., Паги Б.Ю. Крепление оборудования к готовым фундаментам. - Харьков: НТО Стройиндустрия, 1982. - 57 с.

80.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Клименко В.З. и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

81. Шутенко Л.Н., Золотов С.М., Гарбуз А.О. и др. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип. 54. – К.: НДІБК, 2001. – С. 810-814.

82. Шутенко Л.Н., Золотов М.С. Крепление башенных сооружений к фундаментам анкерными болтами и арматурными стержнями на акриловых клеях // Вестник ДонГАСА. - Макеевка, 2001. Вып. 2001-5. - С. 176-178.

83. Шутенко Л.Н., Золотов С.М., Гарбуз А.О., Зудов О.В. Акриловые клеи для соединения бетонных и железобетонных конструкций // Материалы докладов Международной интернет-конференции «Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков». – Белгород, 2002. – С. 201-205.

84.Canovas M.F. Las resinasepoxi en la construction // Segunda edicion instituto Eduardo Torroja, 1991. - 286 p.

85. CEB: Fastenings to Reinforced Concrete and Masonry Structutes // Bullettin d'information, Nr.206, Part I. - CEB Lausanne, 1996. - 278 p.

86. Cook R.A. Behavior of Chemically Bonded Anchors // Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineering, V 119, № 9, September 1993. - P. 2744-2762.

87. Cook R.A., Fagundo F.E., Biller M.H. Tensile Behavior and Disign of Adhesive-Bonded Anchors and Dowels // Transportation Research Record 1392, Transportation Research Board, 1993. - P. 126-133.

88. Cook R.A., Kunz J., Fuchs W., Konz R.C. Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete // ACI Structural Journal, V.95, № I, Junuary-February 1998. - P. 9-26.

89. Die Metallischraube Rommt zum Runstaffdubel // Schweizer Baubl, 1986., № 79. - S. 854-859.

90. Eligehasen R., Fuchs W. Befestigungen in der betonzugzone // Beton und stahlbetonbau. - 1989. - № 2. - S. 27-32.

91. Girmscheid G. International Vorgchriften Uber zulassige spannunge in geklebten segmentifugen // Bau-technik, 1986, № 4-S. 133-134.

92. Groppes A. Zur Verankerung Von faserbundein und stahidrahtsilen in stahihunsen mit kunstharzverguss // Bormingenieur, 1987, № 7 - S. 293-304.

93. Heavy fixinds. - London, 1992. - 118 p.

94. Heckhansen R.W. Anwendung sratqeber bu Rrofit und Heimwerker. - Berlin, 1998. - 116 s.

95. Hansen W., Parch J. Die wect der frerindlichen Befestigugstechnik. - Dortmund, 1998. - 234 s.

96. HILTY AG: Fastening Manual Anchoring // Issue Aug. 1997, Hilts Corporation Fastening Systems, Schaan 1997. - 325 p.

97. Mechanical fasteners for concrete. - Detroit, 1995. - 343 p.

98. Modern adhesive bonding // Joining and materials. - 1988. vol. № 1. - P. 38-41.

99. Prokop V. Pripojeni prvku do betonovych casti pomoci ocelovych rozperhych kotev // Pozevni stavby, 1995, № 4. - S. 16-22.

100. Rehm G., Eligehausen R., Mallee R.: Fastening Tectnology // Betonkalender 1994, Verlag fur Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1994. - 267 s.

101. Treasaway K.W., Davis H. Performance of fusion - bonded epoxy-coateg steel reinforcement // Structural engineer. - 1999, vol. 67, № 6. - P. 99-108.

102. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond strength of epoxy-coated reinforcing bars // ACI materials J. - 1989. - vol. 86, № 2. - P. 167-174.

103. Walter E. Auszievepsuche an kunststoff dubein // Bauverwaltung, 1986., №3-S. 114-115.

104. Walter E., Ammann W. Fastening in new concrete materials // Concrete 2000. Edited by Ravindra K.Dhir and Roderik Jones. Pablished by EaFN Spon, New-York, 1995. - P. 847-856.

105. Wagner-Grey U. Neuer metalldubel fur Schwerbefestigungen // Beton- und Stahlletonbau, 1988, № 4. - S. 32-35.

ЗМІСТ

Вступ 3
Розділ 1. Конструкції анкерних болтів для кріплення технологічного устаткування і будівельних конструкцій .. 4
1.1. Конструкції анкерних болтів 4
1.2. Види обпирання устаткування на фундаменти 15
1.3. Матеріал анкерних болтів 16
Розділ 2. Матеріали, застосовувані для кріплення глухих анкерних болтів у свердловинах 18
2.1. Епоксидні клеї 18
2.2. Силоксановий клей 20
2.3. Жорсткі цементно-піщані суміші 21
2.4. Акриловий клей 22
2.4.1. Технологічні властивості акрилового клею 23
2.4.2. Когезійні властивості акрилового клею 26
Розділ 3. Розрахунок і проектування анкерних болтів 28
3.1. Розрахунок анкерних болтів 28
3.2. Приклади розрахунку анкерних болтів різних конструкцій 36
3.3. Проектування анкерних болтів і їх позначення на кресленнях 44
Розділ 4. Розрахунок елементів клейового анкерного з'єднання 49
4.1. Напружено-деформований стан клейового анкерування сталевих стержнів у бетон 49
4.1.1. Напруження в з'єднанні 49
4.1.2. Залежність напружень від фізичних властивостей матеріалів і геометрії з'єднання 54
4.1.3. Розрахунок анкерного з'єднання 61
Розділ 5. Технологія установки анкерних болтів у бетоні й залізобетоні 67
5.1. Утворення свердловин у бетоні і залізобетоні 67
5.2. Приготування сумішей і клеїв 75
5.2.1. Приготування епоксидного клею 75
5.2.2. Приготування силоксанового клею 77
5.2.3. Приготування акрилового клею 79
5.2.4. Приготування жорсткої цементно-піщаної суміші 81
5.3. Установка болтів 82
5.3.1. До бетонування фундаментів 82
5.3.2. В існуючі бетонні й залізобетонні конструкції 83
5.3.2.1. Підготовка поверхні бетону свердловин і анкерних болтів 83
5.3.2.2. Установка розклинних анкерних болтів 83
5.3.2.3. Установка конічних анкерних болтів 87

5.3.2.4. Установка анкерних болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах 88
5.3.2.5. Установка анкерних болтів за допомогою силоксанових клеїв 90
5.3.2.6. Установка анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв 92
5.3.2.7. Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв 93
5.4. Затягування болтів 93
5.5. Контроль якості проведення робіт 97
Розділ 6. Вивірка устаткування і конструкцій 100
6.1. Способи обпирання устаткування на фундаменти 100
6.2. Вивірка устаткування 101
6.2.1. Вивірка устаткування за допомогою вивірочних гвинтів 103
6.2.2. Вивірка устаткування за допомогою інвентарних домкратів 103
6.2.3. Вивірка устаткування на установочних гайках 104
6.2.4. Вивірка устаткування на твердих бетонних подушках 104
6.2.5. Вивірка устаткування на пакетах металевих підкладок 105
6.3. Підлива устаткування 106
6.4. Способи обпирання сталевих колон 109
Заключення 111
Список літератури 113

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування

Навчальний посібник

Автор: Михайло Сергійович Золотов

Відповідальний за випуск: проф. Г.А.Молодченко

Редактор: М.З.Аляб'єв

Коректор: З.І.Зайцева

План 2005, поз. 24

Підп. до друку 14.09.05.	Формат 60x84 1/16.	Папір офісний.
Друк на ризографі.	Умов.-друк. арк. 7,2.	Обл.-вид. арк. 7,6.
Тираж 300 прим.	Зам. № 9441	Ціна договірна.

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12